

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente
FARENA



TRABAJO DE DIPLOMA

**EVALUACIÓN DE EROSIÓN ACTUAL A ESCALA DE PARCELA Y SUB-
CUENCA PARA TRES AGROECOSISTEMAS CON CAFÉ, RIO JIGÜINA-
JINOTEGA**

Autor(es):

**Br. Crisanto José Galeano Roa
Br. José Jesús Rivera Dávila**

Asesor(es):

**Dr. Domingo Rivas Cerda
Ing. Andrés López**

**Managua, Nicaragua
Abril, 2008**

INDICE GENERAL

Contenido

Índice General	ii
Índice de Cuadros	iii
Índice de Mapas	iii
Índice de Gráficos	iv
Índice de Figura	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vii
Resumen	ix
1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 General.....	3
2.2 Específicos.....	3
3. HIPÓTESIS O SUPUESTOS.....	4
4. REVISION DE LITERATURA.....	5
4.1 Intervención del POSAF.....	5
4.2 Agroecosistema de café (Coffea arabica, L.).....	6
4.3 Deforestación.....	6
4.4 Modelos de predicción de erosión.....	10
4.5 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).....	10
4.5.1 Factor R.....	12
4.5.2 Factor K.....	12
4.5.3 Factor LS.....	12
4.5.4 Factor C.....	12
4.5.5 Factor P.....	13
4.6 Sistema de Información Geográfica (SIG).....	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1 Localización del área de estudio.....	14
5.2 Características generales de la subcuenca del Río Jigüina.....	14
5.2.1 Socioeconómicas.....	15
5.2.2 Geología.....	16
5.2.3 Pendiente.....	16
5.2.4 Clima.....	16
5.2.5 Suelos.....	17
5.2.6 Zonas de vida.....	18
5.3 Metodología.....	18
5.3.1 Parcela de erosión.....	18
5.3.2 Metodología para el modelo EUPS aplicando SIG.....	24
5.3.3 Integración al Sistema de Información Geográfica (SIG).....	26
Mapa de Erosión Hídrica Actual (EUPS).....	1
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
6.1 Parcelas de escorrentía.....	27
6.1.1 Pérdida de suelo.....	27

6.1.2	Volumen de escorrentía	31
6.1.3	Concentración de sedimento.....	32
6.1.4	Pérdida de nutrientes.	33
6.2	Ecuación Universal de Pérdida de suelo (EUPS).	35
6.2.1	Determinación de los parámetros.	35
6.2.2	Pérdidas de suelos.	40
7.	CONCLUSIONES.	44
8.	RECOMENDACIONES	45
9.	BIBLIOGRAFIA.....	46
10.	ANEXOS	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Clasificación de la degradación de los suelos causados por erosión hídrica. (FAO, 1980).	10
Cuadro 2. Porcentaje de volumen de escorrentía con respecto a la precipitación 2005y2006.....	32
Cuadro 3. Concentración de sedimentos y porcentajes de reducción de escorrentía y pérdida de suelo por agroecosistema de la Microcuenca Las Mercedes, subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.	33
Cuadro 4. Pérdida de nutrientes en forma de compuesto fertilizante para los agroecosistemas productivos de la finca San Francisco de la Microcuenca Las Mercedes, subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.....	34
Cuadro 5 Láminas de precipitación mensual promedio y su respectivo cálculo al cuadrado. Estación principal de Jinotega.(1971 al 2000).	36
Cuadro 6 Rangos de erosión por unidad de área para el escenario utilizando la EUPS microcuenca las mercedes sub cuenca Jiguina Jinotega. 2005.	42

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa	Página
Mapa 1 Grado de pendiente y longitud de la parte Alta de la Microcuenca las Mercedes Subcuenca Jiguina Jinotega.	36
Mapa 2 Uso de suelo para la parte alta de la microcuenca Las Mercedes subcuenca Jigüina, Jinotega.	¡Error! Marcador no definido.
Mapa 3. Mapa de erosión actual de la microcuenca Las Mercedes, subcuenca del RíoJigüina, Jinotega.....	41
Mapa 4. Escenario de erosión potencial de la microcuenca Las Mercedes, subcuenca del RíoJigüina, Jinotega.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica	Página
Grafico 1 Comportamiento de las precipitaciones en un periodo comprendido de junio del 2005 a julio del 2006.	17
Grafico 2 Pérdida de suelos en los Agroecosistemas productivos de de microcuenca Las Mercedes, subcuenca del Río Jigüina, Jinotega.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Ubicación de parte alta de la Microcuenca Las Mercedes, subcuenca Jigüina, Jinotega.	14
Figura 2 Modelo conceptual para predicción de Erosión Actual.	26

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primeramente a Dios, a mis padres quienes son el Señor Jesús Rivera Castillo y la Señora Boris Raquel Dávila, a mis queridos hermanos Norman Rivera Dávila y Rosa Rivera Dávila por su amor y apoyo incondicional tanto moral, espiritual y económicamente brindado.

A mi esposa Lillian Mairena y mi hija Kerling Raquel Rivera por ser una fuerza motora que cada día me impulsa para salir adelante.

A mi abuela Dolores Castillo y tío Tomás Rivera Castillo.

A mis amigos, Alejandro Salazar, Victorino López, Huber Ariel, Erick Vidal y Jairo Lenin y compañero de tesis.

José Jesús Rivera Dávila

DEDICATORIA

DIOS

PADRES

HERMANOS

SOBRINOS

Crisanto José Galeano Roa.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor Dr. Domingo Rivas por su gran apoyo como amigo y profesor. Al profesor Andrés López como un gran amigo que trabajó arduamente a mi lado en la unidad Sistema de Información Geográfica de Medio Ambiente (SIGMA).

A la dirección de servicio estudiantiles, especialmente a la profesora Idalia Casco por su apoyo durante cinco años incondicionalmente.

En el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) a Doña Cornelia Palacios por su gran apoyo en las determinaciones físicas del suelo.

A la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente (FARENA) por haberme dado la oportunidad de llevar a cabo este valioso trabajo de investigación

Al Profesor. Ignacio Rodríguez porque a pesar de sus ocupaciones siempre estaba a disposición para cualquier inquietud.

Al Proyecto Valoración Socio Económica de los Servicios Ambientales que ejecutó la FARENA.

Al Programa Socio Ambiental y Forestal (POSAF II) de MARENA por dar los aportes económicos para la fase de campo y de gabinete del trabajo de tesis.

José Jesús Rivera Dávila

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de terminar mi Carrera.

A mis hermanos Sonia Mejía y Jairo Galeano por su apoyo incondicional.

A mis Asesores Dr. Domingo Rivas e Ing. Andrés López.

A mis compañeros, que de una u otra forma, contribuyeron a la elaboración de este trabajo.

Al Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) por medio de la Señora Cornelia Palacios que nos brindó el apoyo técnico para determinaciones, necesarias en este estudio.

A la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente (FARENA).

Crisanto José Galeano Roa.

Resumen

El presente estudio se realizó en la parte alta de la Microcuenca Las Mercedes, subcuenca del río Jigüina, Nicaragua. El propósito fue evaluar el efecto de las prácticas agroforestales ante la erosión hídrica a nivel de finca y su impacto modelado a nivel de micro cuenca. Se utilizó el método de parcelas de escorrentía a nivel de finca y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) para la aplicación de la Fórmula, y la elaboración de un escenario de erosión a nivel de microcuenca. Este estudio comprendió el periodo de Junio del 2005 a Junio del 2006 (época lluviosa). Se monitorearon tres sistemas alternativos (versus manejo tradicional): a) Sistema Productivo Coffea arabica L (variedad *Catuai*) más Canavalia ensiformes, en pendiente de 28 %; b) Sistema Productivo Coffea arabica L (variedad *Catuai*), y barreras vivas de cañas, con pendiente 39 %; y c) Sistema Productivo de Coffea arabica (variedad Catimor) con sombra de especies arbóreas como Álamo (*Styrax argenteus*) y Sauce de río (*Salix humboldtiana*), y pendiente de 25%. Ninguno de los sistemas productivos evaluados superó la cantidad de 10 ton/ha/año, por lo que se considera que la erosión es ninguna a ligera, según la clasificación de pérdida de suelos FAO (1980). Sin embargo, las predicciones de erosión aplicando el modelo USLE fueron muy elevados con valores que varían entre 50 a 200 ton/ha/año con relación a los datos obtenidos en las parcelas de erosión. Es así que el escenario de cambio el uso del suelo de cultivo de café con sombra a cultivos anuales, incremento la erosión a una categoría clasificada como muy alta (> 200 ton/ha/año).

Summary

The present study was carried out at the microwatershed Las Mercedes, subwatershed Jigüina, Nicaragua. The main objective was to evaluate the effect of different agroecosystem management on the soil erosion process at the plot and microwatershed levels. Measurement of soil loss was made with runoff plot and predicting equation by using the Universal Soil Loss Equation (USLE) integrated in a Geographic Information System (GIS). The evaluation period was from June 2005 to June 2006. Three agroecosystems were monitored: a) *Coffea arabica* (variety *Catuai*) plus Canavalia ensiformis, 28% of slope; b) *Coffea arabica* (variety *Catuai*), and alive barriers, slope of 39%; and c) *Coffea arabica* (variety Catimor) with shade of tress 25% slope. All the agroecosystems showed soil erosion rate induced by water under the value of 10 ton/ha year and is classified as none to slight according to FAO system classification (1980). However, using the USLE model the soil loss values were from 50 to 200 ton/ha year. Hence a change in the land use from coffee plantation to annual crops increase the area classified as high and very high soil erosion in the microwatershed.

1. INTRODUCCION

La región norte de Nicaragua y particularmente la subcuenca del Río Jigüina, es una importante cuenca productora de agua, presenta graves problemas de degradación de los suelos causada por la expansión de la frontera agrícola en tierras con pendientes elevadas y por prácticas inadecuadas de manejo del suelo y de los cultivos; lo que ha traído como consecuencia una disminución en la productividad y cambios en el régimen hídrico y en la calidad de agua.

El cultivo de café es uno de los principales rubros económicos en el país, representa un 33% y 6% del PIB del sector agrícola y nacional, respectivamente. Durante el periodo 2001-2003, Nicaragua obtuvo un ingreso en divisas de 87.44 millones de dólares americanos en promedio anual proveniente de las exportaciones de café (MAGFOR, 2004). Jinotega es uno de los departamentos más importantes en producción de café, por encontrarse ubicado en zonas adecuadas para este cultivo, sin embargo donde existe potencial de mayor degradación del suelo por efecto de la erosión, con el consecuente deterioro de la fertilidad.

La pérdida de la capa superficial del suelo disminuye la cantidad de materia orgánica, incrementa los contenidos de arcilla, disminuye la capacidad de almacenar agua y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que afecta la producción de los cultivos (Lal, 1988, Fassbender, 1993).

La información sobre las cantidades de pérdida de suelo es escasa, con muy pocos esfuerzos destinados a la investigación en este campo. La causa del

deterioro del recurso suelo en laderas de América Central son el uso inadecuado de tierras con altos riesgos y practicas no sostenibles (PASOLAC, 1993).

Por esta razón el POSAF ha realizado diversos proyectos en conjunto con Organismos Co-ejecutores (OCEs) para la conservación de los suelos y aguas ejecutados por los agricultores en sus fincas con la orientación de los técnicos. Entre la práctica más utilizada es plantación de café en combinación con árboles frutales y árboles de sombra.

Sin embargo, estas inversiones no presentan las evaluaciones cuantitativas y cualitativas que se han realizado con el fin de determinar la eficiencia de cada tipo de práctica utilizada, de manera de tener un soporte científico que permita confirmar sus bondades y limitaciones en condiciones particulares. Los resultados obtenidos pueden ayudar a seleccionar alternativas de manejo conservacionista en futuros proyectos que se realicen en la zona.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar el efecto que sobre el escurrimiento y la erosión del suelo tienen algunos agroecosistemas de café en condiciones similares. Por una parte, se realizó a través de parcelas experimentales de erosión ubicadas bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal y en similares pendientes. Por otra parte dado el costo de la medición directa, se estimó la erosión de suelos a nivel de la Microcuenca usando el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS).

2. OBJETIVOS

2.1 General

- Evaluar el proceso de erosión en los agroecosistemas de café bajo manejo tradicional en la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina utilizando parcelas de erosión a nivel de parcela y el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo para predecir la erosión a escala de microcuenca.

2.2 Específicos

- Cuantificar las pérdidas de suelo y volumen de escorrentía en los agroecosistemas productivos de café usando parcela de escorrentía en la finca San Francisco, Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina.
- Cuantificar las pérdidas de nutrientes (N, P y K) en los Agroecosistemas productivos de café usando parcela de escorrentía en finca San Francisco, Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina.
- Estimar la erosión bajo el uso actual de la tierra en la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina utilizando el modelo de la EUPS.
- Predecir la erosión potencial y comparar los dos escenarios generados de erosión en términos de clasificación de erosión por FAO y la cobertura afectada por cada clase de erosión.

3. HIPÓTESIS O SUPUESTOS.

- Mayores pérdidas de suelo y volúmenes de escorrentía se espera encontrar en el sistema de café con barreras vivas debido al distanciamiento entre las obras, la poca cobertura y edad del café.
- Alto riesgo de erosión se predice encontrar en áreas donde el sistema de café con sombra fue convertido a cultivos anuales por efecto negativo de la pérdida de la cobertura vegetal y pendientes pronunciadas.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1 Intervención del POSAF

En el Plan de Acción Forestal de Nicaragua de 1992, se definieron 10 cuencas prioritarias a ser intervenidas en función de su alto potencial de desarrollo forestal (incluyendo sistemas sostenibles agroforestales, silvopastoriles y de manejo de bosque). Asimismo, por la existencia de una alta presión poblacional con agudos problemas de pobreza rural y el uso de prácticas agrícolas y ganaderas inapropiadas que aceleran el deterioro de los recursos naturales renovables. La Subcuenca del Río Jigüina es una de estas cuencas priorizadas.

El Programa Socio Ambiental y Forestal (POSAF) ha venido ejecutando acciones en dicha subcuenca. Una primera fase de trabajo fue como un programa de transferencia de tecnología para la adopción de sistemas productivos sostenibles de los recursos naturales renovables, promoviendo la participación por medio de incentivos directos a pequeños y medianos productores en el ámbito de la fincas. Además, promovió cambios en el uso y manejo sostenible de los recursos naturales de la cuenca priorizada del país, con la finalidad de mejorar las posibilidades productivas a las poblaciones rurales para mejorar sus ingresos y calidad de vida.

Durante la segunda fase, el POSAF continuó en las mismas áreas priorizadas de las subcuencas apoyando a las áreas protegidas desde el punto de vista de cobertura vegetal y la calidad de las aguas. (MARENA – POSAF, 2002).

Entre las actividades que ejecutan están: prácticas de conservación de suelos y aguas, sistemas agroforestales, la reducción de aguas mieles en los beneficios de café, implementación de alternativas energéticas, prevención y combate de incendios forestales, manejo de plagas y enfermedades e implementación de sistemas de riego. Entre las obras de conservación de suelo y agua realizados

están: curvas a nivel, barreras de gandul, cultivos de cobertura como canavalia, acequias, barreras muertas, elaboración de aboneras, mulch, etc. (MARENA – POSAF, 2001).

4.2 Agroecosistema de café (*Coffea arabica*, L.)

El café es originario del sotobosque de altura de Etiopía manteniendo características de adaptación a la sombra (CATIE, 2000). En Nicaragua ha sido el rubro de mayor exportación de peso muy significativo en el producto interno bruto (PIB) del país en un 25%, es el país proveedor de café de parte de los países de América Central que en su conjunto exportan el 11% del café mundial (Mendoza, 2002). Según CATIE (2000) los beneficios ecológicos asociados a las plantaciones de café son:

- ♦ Protección del suelo contra la erosión y por ende menos lavado de fertilizantes hacia las fuentes de agua.
- ♦ Menores cantidades de agroquímicos a aplicar.
- ♦ Crea un microclima en la zona donde se cultiva.
- ♦ Producción de materia orgánica.
- ♦ Aumento de la biodiversidad.
- ♦ Captura de dióxido de carbono (CO₂)
- ♦ Conservación de suelo y agua.

4.3 Deforestación

La principal causa de la degradación de los recursos naturales de diferentes zonas del mundo es la pérdida de cobertura forestal. Entre 1945 y 1994, la deforestación causó la degradación de 580 millones de hectáreas (30%) de las tierras degradadas. Entre 1990 y 1995, los bosques mundiales fueron reducidos en cerca de 57 millones de hectáreas correspondiendo a una pérdida promedio anual de 0.3% del área boscosa (CATIE, 2000).

4.3.1.1 Consecuencia de la degradación de los suelos.

Según CATIE (2000), las consecuencias de la degradación de los suelos son:

- Expansión de la agricultura y la ganadería a tierras no aptas para este uso.
- Mayor presión social, inestabilidad y migración del campo a la ciudad.
- Mayor riesgo de catástrofes para la población.
- Pérdida de potencial ecoturístico, paisajístico, recreativo y científico de muchos sitios.
- Avances de la desertificación.

4.3.1.2 Definición e importancia de la erosión.

Erosión de suelos es la pérdida de la capa superficial del suelo a causa de factores naturales y antropogénicos (Pritchett 1990).

Morgan (1984) considera que la erosión de suelos, pérdida de suelo, y la acumulación de sedimento son términos que tienen distintos significados en lo que refiere a erosión.

- La erosión de suelos, se refiere a la cantidad bruta de suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia y escorrentía.
- En cambio la pérdida de suelo, es la cantidad de suelo desprendido de un campo o pendiente determinada.
- Y la producción de sedimento, es la pérdida de suelo que está en evaluación.

Según Núñez (1946), la erosión es un proceso perjudicial, causa pérdidas de los cultivos al arrastrar plantas en crecimiento, además del suelo, especialmente en el horizonte A de mayor contenido de materia orgánica, pérdidas de nutrientes por arrastre de ellos en el agua de escorrentía, deterioro de la estructura y a veces mayor compactación de suelo. Otros daños indirectos como acumulación de sedimentos en las represas hidroeléctricas causando perturbaciones en el sistema, daños causados a las viviendas por los derrumbes.

Una estimación global de erosión indica que la capa superficial del suelo pierde de 160 a 300 veces de lo que se puede reemplazar, dado que los procesos de

formación del suelo son muy lentos, efecto que requiere entre 200 a 1000 años para formarse unos pocos centímetros de suelo bajo condiciones agrícolas.

En muchas zonas del trópico los agricultores cultivan en suelos frágiles en contraste, en tierras de pendientes sin protección adecuada por hojarasca ó plantas, es frecuente encontrar pérdidas de suelo por erosión en el orden de milímetros hasta centímetros en un solo año. La pérdida de un centímetro de suelo equivale aproximadamente a 100 toneladas de suelo por hectárea asumiendo una densidad aparente de 1 ton/m³, lo que incluye grandes cantidades de materia orgánica, nutrientes y microorganismos.

4.3.1.3 Clases de erosión hídrica Núñez (1946).

- Pluvial: este se debe al desprendimiento o arrastre de las partículas de suelo causado por el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, especialmente en suelos sin cobertura vegetal.
- Escurrimiento: es cuando el agua que corre sobre la superficie del suelo y se infiltra en lugares bajos (Gómez *et al.*, 2000). Se da cuando la velocidad de infiltración del agua es menor que el aporte por lluvia y dependiendo de la pendiente el agua escurre por la superficie del suelo (agua de esorrentía) causando desprendimiento de las partículas evidenciado en la presencia de surcos sobre el suelo.
- Remoción en masa. este tipo de erosión ocurre cuando un gran volumen de suelo infiltra mucha agua, y la retiene volviéndose inestable. Luego de la alta infiltración de agua por acción de la gravedad produce el movimiento de suelo.

4.3.1.4 Formas de erosión hídrica.

Según Núñez (1946), Dependiendo de la forma de actuar la erosión hídrica se clasifica en:

- Salpicadura, que es la disgregación y arrastre del suelo producido por la energía que desarrollan las gotas de lluvia al caer al suelo.
- Laminar, ocurre cuando la velocidad de caída de agua de lluvia es mayor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo, dando lugar al escurrimiento superficial sobre el terreno inclinado. B1 Erosión que se puede presentar en forma laminar, que ocurre por arrastre uniforme de la capa superficial del suelo debido a la escorrentía.
- En surco, sucede cuando el agua de lluvia se acumula y se concentra en las depresiones y comienza a fluir sobre el terreno, adoptando la trayectoria de mínima resistencia. De este modo, el flujo superficial, con el limo de suspensión se desplaza siguiendo surcos. B2 Erosión si el agua de escorrentía se concentra en algunas áreas del terreno, se forman surcos muy profundos o zanjales de gran tamaño que corresponde a la erosión en cárcavas.
- Cárcavas, se produce cuando el escurrimiento de un declive aumenta en volumen y velocidad lo bastante para corroer profundamente el suelo.

4.3.1.5 Tolerancia a la pérdida de suelo.

La pérdida de suelo permisible, se refiere a la cantidad de suelo de un área que está en equilibrio con la tasa de formación de suelos.

Cuadro 1. Clasificación de la degradación de los suelos causados por erosión hídrica. (FAO, 1980).

Categoría	Pérdida de Suelo	
	ton/ha año	mm/año
Ninguna a ligera	< 10	< 0.06
Moderada	10 – 50	0.6 – 3.3
Alta	50 – 200	3.3 – 13.3
Muy alta	> 200	> 13.3

4.4 Modelos de predicción de erosión.

En las estrategias de conservación de suelo, es de mucha importancia justificar las inversiones que se realizan y las restricciones que se debe auto ponerse el agricultor para lograr sus objetivos que se propone alcanzar, una agricultura sostenible, que ni degrade el recurso del suelo, ni produzca impacto desfavorable sobre el medio ambiente para ello se usan modelos de erosión de suelo. (Morgan, 1997). Las técnicas de predicción de suelo se han desarrollado a lo largo de muchos años como resultado de un creciente proceso de la erosión. Los primeros casos eran de naturaleza cualitativa que ilustraban que algunas prácticas de cultivo diferían en cuanto a su capacidad para encontrar la erosión de los suelos. (Kirkby y Morgan, 1984).

4.5 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

Inicialmente se desarrollaron ecuaciones para describir las pérdidas, mediante una variable independiente única. A medida que se dispuso de más datos se formularon ecuaciones de múltiples variables, y es así como surge la ecuación universal, que es el método de uso más amplio para la predicción de pérdida de suelo por parte de los conservacionistas. (Morgan, 1984).

La ecuación se llamó universal porque estaba exenta de algunas de las generalizaciones y restricciones geográficas y climáticas inherentes. En los primeros modelos se ha criticado de no ser universal porque los valores y los parámetros se presentaron en condiciones a las dos terceras partes orientales de

Estados Unidos. Sin embargo, a medida que se fueron acumulando los datos, los parámetros se están identificando para su uso en más regiones, incluyendo otros continentes. Se desarrollo como un método para predecir la perdida promedio anual de suelo procedente de la erosión laminar y en surcos al poder disponer de los valores de los parámetros, las alternativas de cultivo y de manejo pueden determinarse para reducir la perdida de suelo estimada a los valores de tolerancia sugeridos para el tipo de suelo. (Morgan, 1984).

Según Wischmeier (1976), la E.U.P.S. puede utilizarse adecuadamente para:

- Predecir pérdidas anuales de suelo de una pendiente en un campo en condiciones específicas de uso de la tierra.
- Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo y de prácticas de conservación de suelo con pendientes específicas.
- Predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultaría en un cambio en las cosechas de conservación sobre un campo específico.
- Determinar como pueden aplicarse o alternarse las prácticas de conservación para permitir el cultivo más intensivo.
- Estimar la pérdida de suelo en áreas con un uso de suelo distinto del agrícola y obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación.

Descripción de los factores de la EUPS. (Morgan, 1984)

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P.$$

Donde:

A = la perdida de suelo (ton/ha año).

R = factor de erosividad de la lluvia (MJ mm / ha h año).

K = factor de erodabilidad del suelo (ton ha h / ha MJ mm).

LS = factor de longitud y gradiente de pendiente (adimensional).

C = factor de cobertura vegetal (adimensional).

P = factores de práctica de control de erosión (adimensional).

4.5.1 Factor R

Es una definición de la erosividad como resultado de precipitación pluvial, y se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética y la intensidad máxima en 30 minutos. Los índices de erosividad por precipitación pluvial pueden sumarse para cualquier periodo para proporcionar una medida numérica de la erosividad por precipitación pluvial durante un periodo y de esa manera poder sacar promedios anuales de dicho índice.

4.5.2 Factor K

Este factor representa el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos. Las propiedades del suelo que afectan la tasa de infiltración como permeabilidad, capacidad hídrica total, dispersión, fuerza de transporte, esta afectando la erodabilidad del suelo.

4.5.3 Factor LS

Los efectos de la longitud y el gradiente de la pendiente, se presentan en la ecuación como L y S respectivamente, a menudo se evalúan como factor topográfico único. La longitud de la pendiente se define como la distancia del punto de origen del flujo sobre la superficie asta el punto donde la pendiente disminuye. El gradiente de pendiente, es el segmento de la pendiente, expresado generalmente como porcentaje basándose en las recomendaciones actuales (Wischmeier y Smith, 1978).

4.5.4 Factor C.

Factor manejo de cobertura, representa la relación de la pérdida del suelo a partir de un estado de labranza y barbecho continuo para el mismo suelo, pendiente y precipitación pluvial. Este factor incluye los efectos interrelacionados de la cobertura, la secuencia de cultivos, el nivel de productividad, duración de la estación de crecimiento, prácticas de cultivo, manejo de residuos, y la distribución de la precipitación pluvial.

4.5.5 Factor P.

Este factor representa prácticas de control de erosión; como cultivos en contorno o en bandas. Su valor depende de la pendiente del terreno y puede ser obtenido de tablas. Los valores de P varían entre casi 0 y 1. La determinación del factor P por efecto de incluir prácticas de conservación de suelos son obtenidos de valores obtenidos en ensayos experimentales (Morgan, 1984).

4.6 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Según Mendoza (2000), se define como Sistema de Información Geográfica (SIG), a un sistema de información que ofrece cuatro tipos de posibilidades para manejar datos georeferenciados:

- Entrada de datos.
- Manejo de datos (almacenamiento y búsqueda).
- Manipulación y análisis.
- Salida de datos.

SIG, es un conjunto de programas utilizados como herramienta en la recopilación, almacenamiento, búsqueda, transformación y para desplegar información espacial de una región, permitiendo el análisis y manejo rápido de esta información. Los SIG han demostrado ser herramientas útiles en el procesamiento y manipulación de información georeferenciada, según los objetivos del estudio.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica en la Microcuenca Las Mercedes en la parte oeste de la Subcuenca del Río Jigüina. Se localiza entre las coordenadas geográficas 13° 02' 49" y 13° 05' 52" Latitud Norte y 85° 56' 38" y 85° 58' 38" Latitud Oeste. Políticamente pertenece al departamento de Jinotega y Matagalpa. Se localiza a unos 155 km de la ciudad de Managua, Nicaragua.

5.2 Características generales de la subcuenca del Río Jigüina

El área de la subcuenca del río Jigüina cubre una superficie de aproximadamente 18,454.9 ha (184.5 km²).

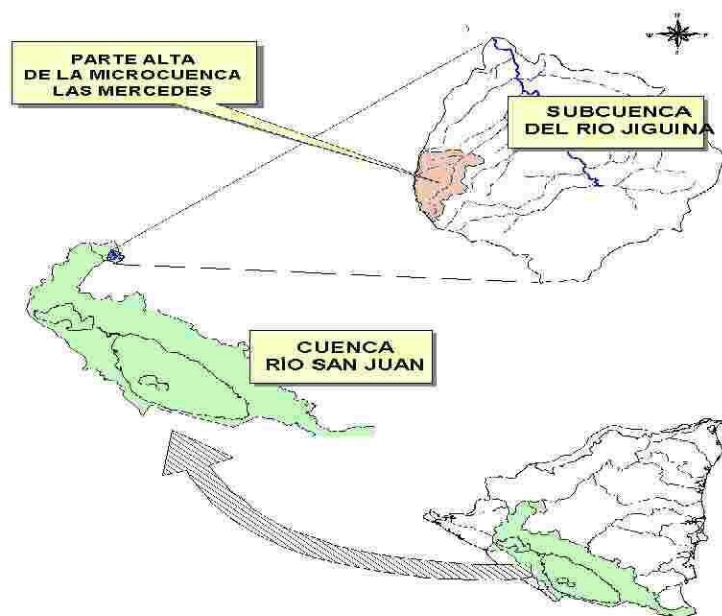


Figura 1. Ubicación de parte alta de la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca Jigüina, Jinotega 2005.

El río Jigüina drena la porción sur-central de la cuenca del embalse de Apanás, encontrándose principalmente dentro del departamento de Jinotega, pero con una

parte de su cabecera al sur (por la microcuenca Aranjuez) en el departamento de Matagalpa.

La subcuenca río Jigüina es un componente importante de la cuenca del lago de Apanás. No solo es el afluente más importante para el funcionamiento del embalse, tanto desde la perspectiva de caudales como sedimentos/azolve, el río Jigüina también es utilizado para el trasvase de agua potable de la microcuenca Aranjuez para la Ciudad de Matagalpa. Así, es una subcuenca importante por los aprovechamientos hidroeléctricos que ella permite por medio del sistema Apanás.

5.2.1 Socioeconómicas

La subcuenca Jigüina cuenta con una población de 100 familias, donde cada productor cuenta con un área promedio de 5 ha. El uso actual de los suelos está dominado por café (28.8 % de sombra y 6.9% al sol); la cobertura de bosques representan el 17.6 % y la mayor cobertura la representan los pastizales con 40.9 % y los cultivos anuales el 5.8 % que comprenden granos básicos con predominio de hortalizas.

Los cafetales tienen diferentes sistemas de sombra como cítricos, musáceas, pocas guabas (*Inga spp*) y varias especies maderables, remanentes del bosque original o producto de la regeneración natural, incluyendo aguacate mico, aguacate canelo, trotón (*Sapindus saponaria*), zapotillo, tempisque (*Mástichodendron capiri*), cedros amargos (*Cedrela odorata*) y cúcul (*Cedrela tonduzii*), linderos de ciprés (*Cupressus lusitanica*), nogales (*Juglans olanchana*), entre otros.

Con relación al turismo, es importante mencionar que en los registros publicados, se menciona la reserva natural El Arenal que se encuentra dentro de las cuencas hidrográficas de Molino Norte y Jigüina, y que brinda los servicios turísticos a nacionales y extranjeros. En la región central se encuentran las áreas protegidas Datanlí El Diablo y dentro del área de amortiguamiento esta la subcuenca Jigüina que esta siendo manejada por el POSAF bajo un sistema mínimo (MARENA-POSAF, 2001).

5.2.2 Geología

La geología de la cuenca esta dominada por rocas volcánicas del terciario, con una litología de lavas basálticas y andesito-basálticas, tobas y brechas dacitas e ignimbritas. En general, estas litologías forman suelos fértiles, con niveles de nutrientes de medios a altos, y saturación de bases alta (MARENA – POSAF, 2001).

La altitud de la cuenca varía entre 950 m en la desembocadura del río Jigüina en el lago de Apanás hasta 1,688 m en el cerro Santa Rosa en el sur-oeste de la cuenca, y 1,525 m en el cerro Bravo, que esta localizado en la divisoria con la cuenca del río Molino Norte. La mayoría de la divisoria en la parte sur, este y oeste, se encuentran con alturas entre 1,400 m y hasta 1,600 m.

5.2.3 Pendiente

La topografía y forma del terreno presenta pendientes dominantes entre 15 y 30% (fuertemente ondulada), distribuidas en la parte alta, las cuales representan el 29.62% (5,358 hectáreas) del área total. Los terrenos con pendiente escarpada a muy escarpada representan el 35.54% (6,428 hectáreas) y se distribuyen en la parte media y alta. En cambio los terrenos con pendiente plana a ondulada constituyen el 34.83% (6,301 hectáreas) del área total y se distribuyen en la parte baja, media y alta. La pendiente media de la subcuenca es aproximadamente de 26%.

5.2.4 Clima

La precipitación media es de aproximadamente 1,500 milímetros y la temperatura media es de 20° C. (MARENA – POSAF, 2001). En la parte más baja (950 m.s.n.m.), la precipitación media anual corresponde a 1,200 mm, con meses lluviosos entre mayo y noviembre y se presenta una canícula benigna (10-15 días) en el mes de julio. En los meses de diciembre a marzo se presentan precipitaciones de aproximadamente 35 mm por mes. En cambio en la parte más alta la precipitación media anual corresponde a 1,800 mm, con meses lluviosos entre mayo y noviembre, y casi sin canícula. En los meses más lluviosos (junio y

septiembre) ocurren precipitaciones de más de 250 mm por mes. Hay un promedio de unos 50 mm de lluvia en cada mes durante los meses diciembre a marzo.

La distribución de la precipitación ocurrida durante el período de observación se presenta en el grafico 1 siendo esta evaluada de junio 2005 a junio 2006 obteniendo un valor promedio de 1,343.1 mm (estación Jinotega).

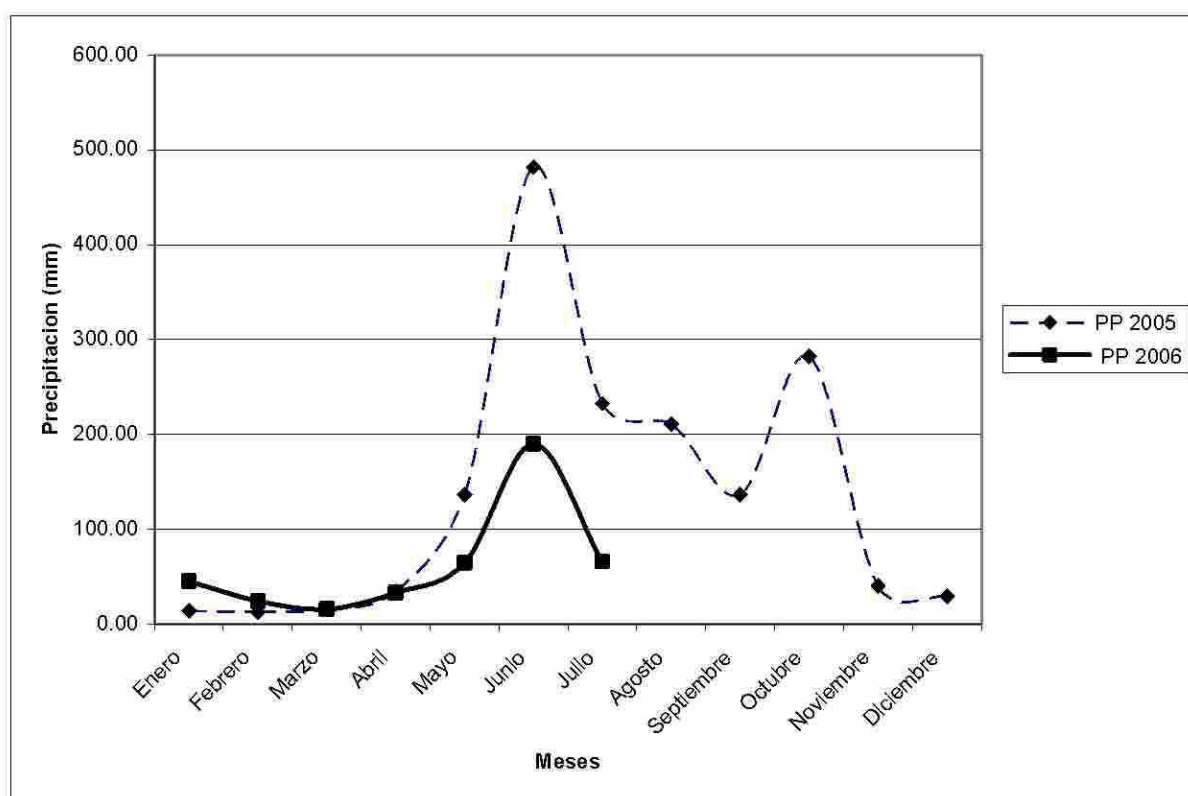


Grafico 1, Comportamiento de las precipitaciones en un periodo comprendido de junio del 2005 a julio del 2006.

5.2.5 Suelos.

Los suelos pertenecen a los órdenes Mollisoles y Alfisoles que se ubica en las unidades geológicas Coyol Superior y Coyol Inferior. Debido a niveles altos de

minerales primarios en la materia madre de suelo, y un clima que da muy poca lixiviación, la fertilidad básica de los suelos es alta, sobre todo en materiales más básicos (basálticas y andesíticas). En general, los suelos profundos tienen un horizonte A de franco a franco arcilloso, con altos niveles de materia orgánica (4,5-8%), CIC (25-50 cmol⁺/kg de suelo), K-disponible y pH (5,8-6,8), con un horizonte B de franco arcilloso pesado a arcilla. El suelo típico profundo es clasificado como *Typic Argiustoll* o un *Typic Haplustoll* en las áreas bajas, y un *Typic Argiudoll* o un *Typic Hapludoll* las tierras más altas.

El problema principal de los suelos en la cuenca es la falta de profundidad en muchos casos, sobre todo en lugares donde hay pendientes fuertes (>30%) y en laderas altas y convexas. En estos lugares los suelos típicos son *Lithic Haplustolls* (tierras bajas), y *Lithic Hapludolls* (tierras altas). En muchos casos, también, el horizonte-A ha sido erosionado, con el suelo resultando como un *Lithic Eutropept* o un Entisol. Estos suelos tienen menos valor agropecuario porque tienen menos capacidad para retención de agua, y por eso, están más afectados por las sequías. (MARENA – POSAF, 2001).

5.2.6 Zonas de vida

De acuerdo a la clasificación bioclimática de Holdridge existen dos tipos zonas de vida. En la parte más alta comprende un *bosque muy húmedo montano bajo subtropical* (bmh-MBS) o nebliselva y en la parte media y baja corresponde al *bosque húmedo subtropical* (bh-S) (MARENA – POSAF, 2001).

5.3 Metodología

5.3.1 Parcela de erosión

Cada parcela es una porción aislada de terreno que tiene como datos conocidos: grado de pendiente, longitud de la pendiente y tipo de suelo (Morgan, 1997) que consiste en un terreno rectangular, de superficie conocida limitada por bordes que evitan la entrada de agua del exterior (Guido, 1997).

Este procedimiento consiste de 3 etapas:

5.3.1.1 Etapa de Precampo

Consintió en la identificación de los productores colaboradores en áreas de estudio, considerando: el tiempo de ser beneficiario del programa de desarrollo agrario sostenible, el grado de erosión en los agroecosistemas, el acceso todo el tiempo a las fincas, la seguridad en cuanto a equipos de campo permanentes en la finca y contar con mano de obra temporal en las fincas. Posteriormente, se seleccionaron los agroecosistemas a ser evaluados considerando: que fueran representativo de la zona, áreas con prácticas promovidas por POSAF y sin intervención del programa y que el terreno presentara una pendiente uniforme.

La parcela experimental de erosión consistió en un área de escorrentía de forma rectangular con 3 m de ancho con un rango de longitud de pendiente entre 18.5 a 20 m de largo en dirección de la pendiente principal. El área se encontraba aislada en la parte superior y laterales por láminas de zinc liso de 40 cm. de ancho las cuales son enterradas 20 cm en el suelo. Estas fueron traslapadas colocando la lámina pendiente arriba hacia dentro de la parcela.

Un canal colector, se ubico en la parte baja del área de escurrimiento para interceptar la escorrentía y canalizarla hacia el sistema de almacenamiento. En la parte media del canal colector se conecta un tubo de conducción de tres pulgadas de diámetro e inclinado con una pendiente de 20 %, para facilitar la evacuación de los sedimentos.

El sistema de almacenamiento consistió en dos barriles en serie de 214 L de capacidad cada uno, que fueron nivelados. El primer barril (B1) estaba conectado al tubo de conducción y tenía un sistema de drenaje de 6 tubos de una pulgada de diámetro colocados a una altura de 76 cm y distribuidos uniformemente alrededor del barril. Una de las salidas estaba conectada con el segundo barril (B2). Cuando el B1 está a máxima capacidad el B2 recibió una alícuota de 1/número de salidas.

5.3.1.2 Etapa de campo o monitoreo.

Procedimiento de Muestreo de Parcela de Erosión

El monitoreo de erosión consistió en una visita con frecuencia semanal a quincenal a la parcela de erosión durante el periodo de lluvia. Primeramente, se anotó la altura (h) en cm de la escorrentía de cada barril.

Posteriormente, se agitó enérgicamente el volumen de escurrimiento en cada barril hasta alcanzar una consistencia homogénea de la mezcla. Momento en el cual se procedió a tomar una muestra de volumen conocido de sedimentos suspendidos. Luego el recipiente, se codificó con: nombre del lugar, fecha, tratamiento, número de barril y altura de escorrentía. Posteriormente, la muestra fue transportada al Laboratorio de Suelo y Agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria (UNA) para determinación de volumen de escorrentía, peso de sedimentos secos.

5.3.1.3 Etapa de gabinete

Cálculo de escorrentía superficial.

Primeramente, se determino al area (a) de la sección transversal (AST) de cada barril, con la siguiente formula:

$$a = \pi r^2$$

r = radio del barril (cm)

Luego, se determino el volumen almacenado en el barril usando la formula de volumen de un cilindro, que es el producto del AST por la altura (h en cm) medida en el barril.

$$V = AST \times h$$

El valor obtenido se dividió entre 1,000 para expresar el resultado de metros cúbicos a litros de escorrentía. El volumen determinado del B2 se multiplica por el número de salidas de drenaje (SD) que tenga el primer barril. Para cada período

de monitoreo, el valor de la esorrentía total de la parcela (VEP) consistió en la suma de los volúmenes de ambos barriles.

Luego, se procede a extrapolar a un área de una hectárea, con una simple regla de tres para obtener el volumen de esorrentía (VE). Por ejemplo, si un VTE fuera de 910.2 L, que corresponde al área de una parcela ($20\text{ m} \times 3\text{ m} = 60\text{ m}^2$), entonces para $10,000\text{ m}^2$ (1 ha) sería de 151,700 L/ha. Posteriormente, para transformar de litros a metros cúbicos, este valor se divide entre 1000.

Cálculo de la concentración de sedimentos (CS)

En el laboratorio, a la muestra de la esorrentía se mide su volumen con una probeta. Para determinar el peso seco de los sedimentos, el volumen de esorrentía es puesto al horno para secar por 48 horas a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un recipiente previamente pesado. Después de secado, se pesa nuevamente con el contenido el sedimento.

La diferencia del peso de sedimentos más recipiente (Y) menos el peso del recipiente (X) nos indica la cantidad de sedimento contenido en la muestra (Z).

$$Z = Y - X$$

La relación entre sedimentos y volumen de esorrentía de la muestra resulta en el valor del Indicador Concentración de Sedimentos, expresado en gramos por litro.

Cálculo de la Pérdida de Suelo

Para cada período de muestreo, se obtuvo una cantidad de suelo erosionado en toneladas por hectáreas. El valor acumulado durante la época de lluvia representa el valor anual. La cantidad de suelo erosionado se obtiene de multiplicar la concentración de sedimentos (CS) de cada barril por su volumen de esorrentía (V).

$$\text{PSB} = \text{CSB} \times \text{VB}$$

Donde:

PSB: Pérdida de suelo del barril (g)

CSB: Concentración de sedimento del barril (g/L).

VB: Volumen de escorrentía del barril (L).

Luego el valor de pérdida de suelos es transformado en kilogramos. Posteriormente, se extrapoló a un área de una hectárea, con una simple regla de tres. Ejemplo Si PSB1 = 2,500 g, expresado en kilogramos es de 2.5. Si el área de la parcela es de 20 m x 3 m = 60 m², entonces para 10,000 m² (1 ha) es de 416.6 kg/ha. Para hacer manejables los números se transformó a ton/ha.

5.3.1.4 Descripción de los Tratamientos

5.3.1.4.1 Café más canavalia. (Agroecosistema 1)

El agroecosistema café con cultivo de cobertura (sin sombra): fue establecido en el año 2003; en pendiente de 28 %; las plantas de café (*Coffea arábica*, variedad Catuai) tienen un distanciamiento de 1.30 m entre plantas y 1.80 m entre hileras, para un total de 24 plantas por parcela de erosión, lo que equivale a una densidad de 4,000 planta/ha. El sistema de deshierba consistió en una combinación entre manual con machete y con químicos con Glifosato y Gramoxone y la fertilización con 15-15-15 esta se realizó en los meses de mayo y octubre. El café fue afectado por plagas como la cochinilla, pero no se realizó ningún tipo de control. La cobertura de canavalia, se le realizaron corte de los bejucos frecuentemente para no permitir el ahogo a las plantas de café y podas en el tiempo de floración con el fin de incorporarlo al suelo.

5.3.1.4.2 Café con barreras vivas de caña (Agroecosistema 2).

El agroecosistema café con barreras vivas de caña de azúcar (sin sombra) fue establecido en el año 2005; en pendiente de 39 %; las plantas de café (*Coffea arábica*, variedad Catuai) tienen un distanciamiento de 1.72 m entre plantas y 1.34 m entre hileras con una población de 4339 plantas por ha. En caso del café se realizan prácticas de deshierbe de manera manual y químicos con Glifosato, Gramoxone y la fertilización con 15-15-15 esta se realiza en los meses de mayo y

octubre. El café es afectado por plagas como la cochinilla, pero no se realiza ningún tipo de control. En el caso de las barreras vivas se realizan deshojes entre los meses de mayo y octubre con el fin de incorporarlo al suelo.

5.3.1.4.3 Café con sombra arbórea (Testigo o tradicional).

El agroecosistema café con sombra arbórea (CA): fue establecido en el año 2002; en pendiente de 25 %; las plantas de café (*Coffea arábica*, variedad Catimor) tienen un distanciamiento de 1.33 m entre plantas y 1.76 m entre hileras y con una densidad de 4,250 plantas/ha. Los árboles, principalmente *Inga sp.*, tienen un distanciamiento variable, Álamo (*Styrax argenteus*) y Sauce de río (*Salix humboldtiana*). La cobertura de la copa es aproximadamente de 80 %. La superficie del suelo dentro de las parcelas tiene una cobertura del 90 % de hojarasca.

El sistema se deshierba dos veces al año y los desechos se dejan en la superficie. En caso del café se realizan practicas de deshierbe de manera manual y químicos con glifosato, gramoxone y la fertilización con 15-15-15 esta se realiza en los meses de mayo y octubre. En el caso de los árboles se realizan prácticas de poda con el fin de disminuir la sombra. El cafetal esta dividido en café de diferentes edades el primero de un año y medio, el segundo de un año y el tercero de tres años. A estos se le realiza dos limpieas, manualmente (machete) y con químico (glifosato) en los meses de octubre y a principios de mayo, realizándosele seguidamente su respectiva fertilización utilizando 15-15-15. a este no se realiza ningún tipo de control de plagas enfermedades.

5.3.2 Metodología para el modelo EUPS aplicando SIG.

5.3.2.1 Factor erosividad de lluvia (R).

Para estimar este factor, se usaron los datos de precipitación promedio mensuales y anuales registrados desde 1971 hasta el 2000 por INETER, de la esta estación principal Jinotega que se ubica entre las coordenadas 13° 05'06"latitud norte y 85°59'48"longitud o este y a una elevación de 1,032 m.s.n.m. Para el calculo de R se utilizo el índice de Fournier, que se calcula con la siguiente formula.

$$R = \sum (PPM)^2 / PPA$$

Donde:

$\sum(PPM)^2$. Sumatoria de las láminas de precipitaciones promedio mensuales elevadas al cuadrado.

PPA: Lámina de la precipitaciones promedio anual.

Para transformar las unidades al Sistema Internacional se multiplico el valor obtenido por un factor de 17.02.

5.3.2.2 Factor erodabilidad del suelo (K).

Para la obtención de K se utilizo el nomograma de Wischmeier (ver Anexo A).

Primeramente se tomaron muestras de la capa superficial del suelo, las cuales fueron llevadas a laboratorio de suelo y agua para realizar los siguientes análisis.

- La determinación del contenido de materia orgánica, obtenida por el método de combustión húmeda según Walkley y Black.
- La determinación de la textura, en el cual se incluyeron 2 parámetros.
 - Porcentaje de limo (0.002 – 0.5 mm) más arena muy fina (0.05 – 0.10 mm).
 - El porcentaje de arena (0.10 – 2.0mm).

De la descripción de perfil (ver anexo C) se obtuvieron los siguientes datos:

- La estructura del suelo
- Permeabilidad.

El resultado del factor de erodabilidad es necesario dividirlo entre 10 para transformar a unidades del Sistema Internacional (SI).

5.3.2.3 Factor longitud y gradiente de pendiente (LS).

Primeramente fue elaborado el modelo de elevación digital (MED), utilizando el Programa Arc View, mediante la digitalización de las curvas a nivel de 20 m del mapa topográfico escala 1:50,000. Posteriormente, fueron rasterizadas e interpoladas. El factor LS se calculó aplicando la extensión LS del programa RUSLE, generándose el mapa de LS. (L) longitud y (S) pendiente del terreno. Para la creación de este modelo se tomo en cuenta lo siguiente:

- Curvas a nivel a intervalos de 20 metros.
- Puntos más altos de la microcuenca.
- La red de caminos y carreteras.
- Red de drenaje.

5.3.2.4 Factor cobertura vegetal (C).

Para determinar este factor se empleo el mapa de uso actual de la microcuenca generado por POSAF MARENA (2001). Posteriormente, se clasificó la cobertura vegetal de acuerdo al mapa de uso actual y se le asignaron valores de C, usando la tabla de cobertura vegetal (ver anexo B).

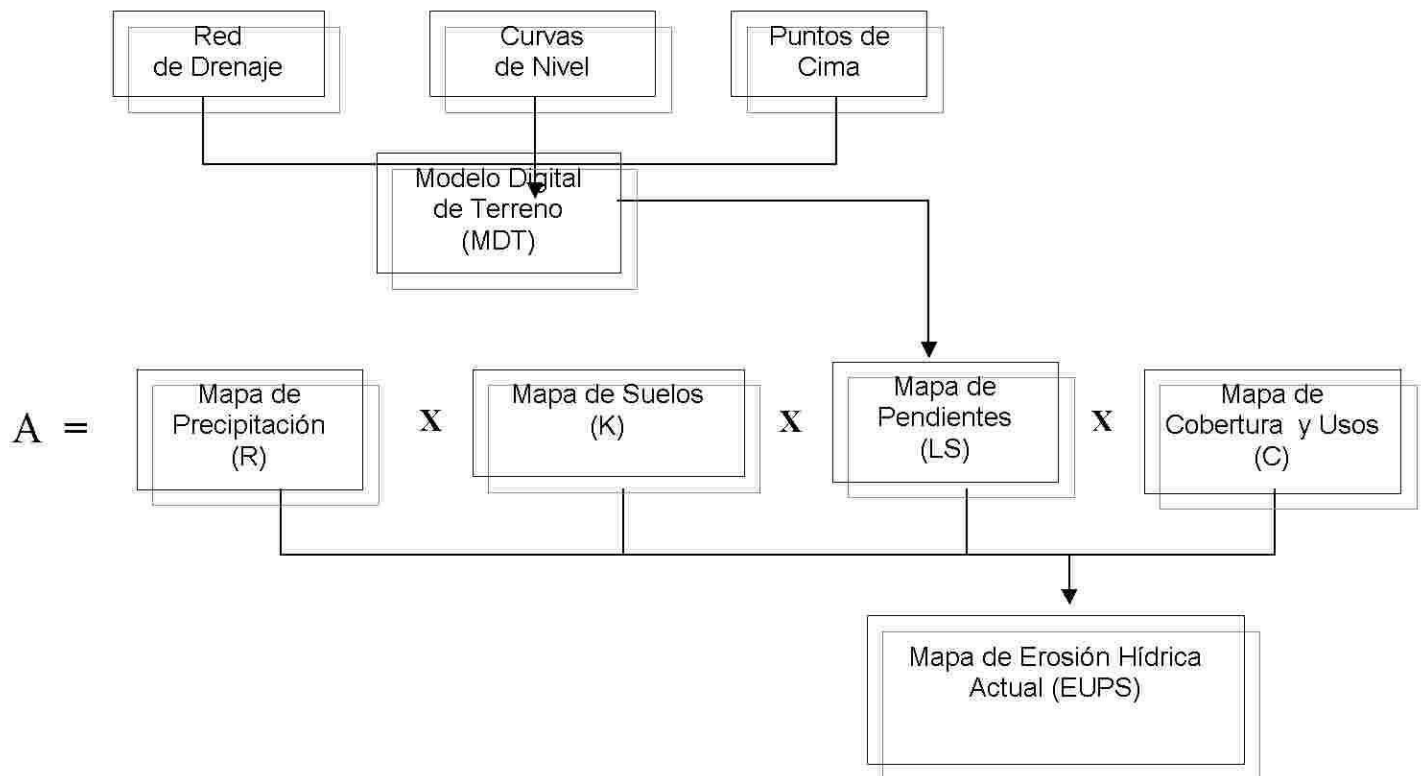
5.3.2.5 Factor practicas de control de erosión (P).

Este factor no se tomo en cuenta debido a que en las parcelas no se presentaban obras de conservación.

5.3.3 Integración al Sistema de Información Geográfica (SIG)

Este modelo es adaptado a cada uno de los factores relacionados con las condiciones de vida de la zona de estudio y expresado a través de la pérdida de suelo en ton/ha año. Una vez que se generaron los mapas de cada factor estos se multiplicaron usando un calculador de mapa (Arc View), lo que dio como resultado el mapa de riesgo de erosión actual de la microcuenca.

Figura 2 Modelo conceptual para predicción de Erosión Actual.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Parcelas de escorrentía.

6.1.1 Pérdida de suelo

En el Grafico 2, se muestran las pérdidas de suelo de 0.04, 1.24 y 0.02 ton/ha/año para el Agroecosistema 1, Agroecosistema 2 y Testigo respectivamente. Presentándose la mayor pérdida de suelo en agroecosistema 2 influyendo el grado de cobertura, dado que los cafetos presentaban una edad de tres meses al momento del establecimiento de las parcelas teniendo muy poco follaje con una grado de pendiente de 39% y a las diferentes prácticas culturales realizadas a mano provocando una perturbación en el suelo está realizadas cada cuatro meses y luego su respectiva fertilización.

Pérdida de Suelo (ton/ha año)

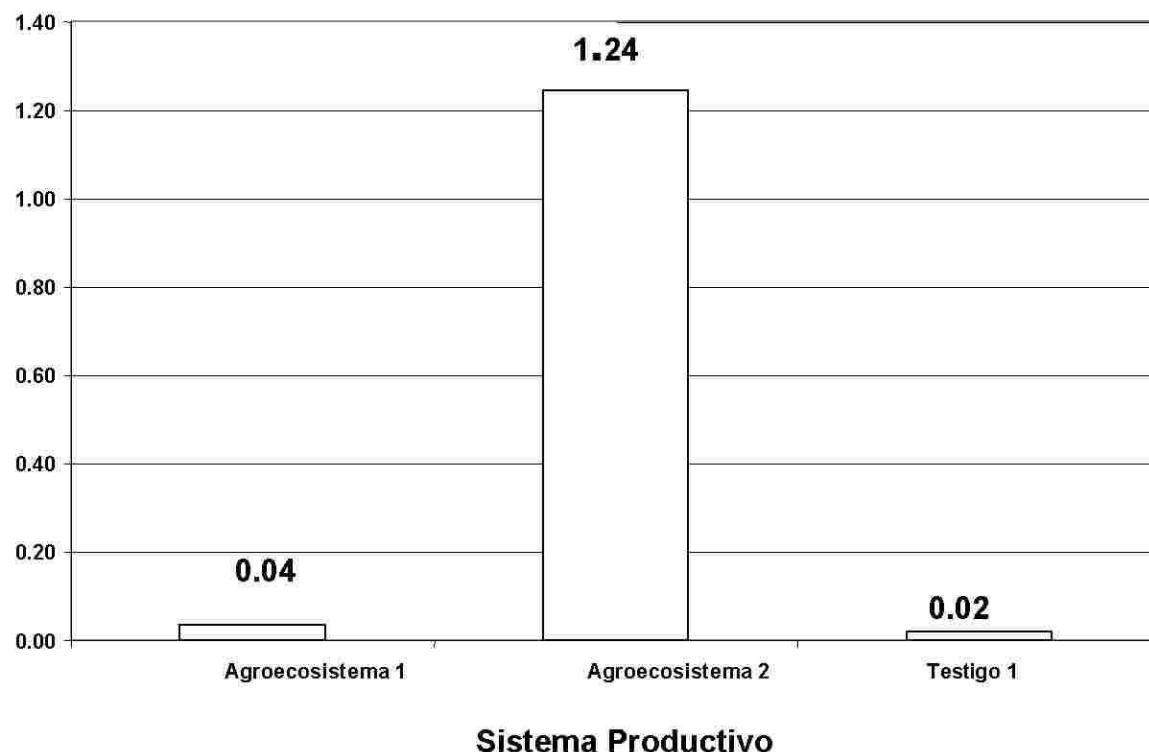


Grafico 2 Pérdida de suelos en los agroecosistemas productivos de la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.

El Agrosistema 1, obtuvo pérdidas de suelo de 0.04 ton/ha año, podemos decir que este tratamiento obtuvo excelentes resultados en cuanto a la reducción de las pérdidas de suelos, dado que se presentaba una mayor cobertura. Velásquez y Vallejos (1998) reportaron que las pérdida de suelo en plantación nueva de café en Matagalpa usando canavalia como cultivo de cobertura fue de 0.077 ton/ha.

La parcela Testigo obtuvo valores de 0.02 siendo este el valor más bajo en comparación con el resultado de los Agroecosistemas 1 y 2. Consideramos que este tratamiento logró controlar en buena medida la erosión; debido a que se presenta una cobertura de hojarasca que varía en un espesor entre 3 y 15 cm, condición que impide el golpeteo directo al suelo de las gotas de lluvia o de las gotas de agua caídas desde la copa de los árboles. Cuando ocurren láminas bajas de precipitación se produce un escurrimiento del agua a través de la hojarasca, sin que llegue muchas veces a la superficie del suelo; estas condiciones pudo influir en una menor pérdida de suelo.

La colecta de sedimentos en campo presentó alta variabilidad influenciada por las alteraciones por manejo de cultivos (fertilización y manejo de malezas) y la variación de la intensidad de la lluvia. Los coeficientes de variación fueron altas para ambos años, por ejemplo, en el 2005 este fue de 234.53% y en el 2006 fue de 256 %

Datos obtenidos por CENICAFÉ Colombia (citado por Gómez, 1972) en cafetales bajo condiciones similares de cobertura, reportó las menores pérdidas de suelo por erosión en cultivos de café bajo sombra (0.09 – 0.22 y 0.56 kg/ha año) en pendientes de 45 %, precipitación media anual de 2701.5 mm y con prácticas conservacionistas como terrazas individuales, deshierbe manual y con machete, cajuelas y cobertura de añil rastrero; en cafetales a semi-sombra la pérdida fue de 2.17 Kg/ha/año y en cafetales al sol en pendientes de 60 %, las pérdidas varían desde 0,04 con cobertura natural, a 0.68 kg/ha año.

PASOLAC (1998) reporta que cuando se tiene un café bajo sombra principalmente leguminosa se mantiene los recursos agua y biodiversidad. El control de erosión

de un cafetal en laderas y con sombra pierde alrededor de 1.8 ton/ha año, mientras que en las mismas condiciones un cultivo limpio con labranza periódica pueda perder 225 ton/ha año por efecto de la erosión. El café con sombra contribuye un sistema agroforestal que protege las fuentes de agua reduce la escorrentía facilitando la infiltración por la presencia de materia orgánica.

Los agroecosistemas de café bajo sombra están más disturbados que los bosques y menos alterados que los sistemas de cultivos anuales, por lo que se esperan escurrimientos superficiales y pérdidas de suelo de magnitud intermedia entre éstos.

Estudios realizados en bogota Colombia de pérdidas de suelo y agua por escorrentía en suelos derivados de cenizas volcánicas (Melanudands) y con precipitación promedio anual 2618 mm, arroja que las pérdidas menores de suelo por erosión, se presenta en los cultivos densos como es el caso de los pastos (0.29 ton/ha/ año) y en aquellos sistemas de cultivo donde se dejan coberturas vegetales densas dentro del cafetal (0.48 ton/ha/año). No obstante, las mayores pérdidas de agua por escorrentía se dan donde la cobertura vegetal es más densa como son los pastos (242 mm/ha/año) Suárez de Castro, Rodríguez (1962).

Las pérdidas de suelo estuvieron influenciadas por la cobertura al ras del suelo, la cual está constituida por la hojarasca caída y el material de deshierbe que es dejado sobre la superficie. Estudios sobre este aspecto que han realizado diversos investigadores (Páez y Rodríguez, 1995; Urbina y Rodríguez 1995) concluyendo que los residuos en superficie reducen marcadamente las pérdidas de suelo por erosión hídrica.

Uribe (1971) reportó en Colombia pérdidas promedios de suelo por erosión durante 2,5 años para agroecosistema de café Borbón al sol, en pendiente 60%, con suelo derivado de cenizas volcánicas (Melanudands) y precipitación promedia

anual 2,409 mm arrojo 2.77, 0.052 y 6.45 ton/ha año, para control de maleza con azadón, machete y herbicida, respectivamente.

Por otro lado, Gómez (1990) señala que las coberturas vegetales conocidas como “malezas nobles” son muy eficientes para prevenir la erosión, reduciendo en 95 a 97 % las pérdidas de suelo en cafetales al sol en altas pendientes. Igualmente, las plantaciones de café combinadas con especies de sombra, árboles frutales o con cultivos de cobertura (pastos y leguminosa) y utilizando prácticas de conservación, permiten la conservación del agua, el control de la erosión en tierras de altas pendientes y el mejoramiento de algunas características físicas y químicas del suelo por lo que se considera un cultivo esencialmente conservacionista (Lal, 1989; Fassbender, 1993; Craswell et al., 1997).

Rivera y Gómez (1993) reporto pérdidas de suelo por erosión en cafetales al sol con manejo integrado de arvenses en suelos derivados de cenizas volcánicas (Melanudands) con 60% de pendiente en el período comprendido de enero 1982 a diciembre 1992 de 771 kg/ha con control mecánico con azadón y 329 kg/ha con machete; y 595 kg/ha usando control químico con Glifosato.

6.1.2 Volumen de escorrentía

El volumen de escorrentía de los sistemas productivos fue de 163, 483.5 y 152 m³/ha para Agroecosistema 1, Agroecosistema 2 y Testigo (Gráfico 3). El monitoreo de campo presento alta variabilidad en ambos años, y mayores aun en la parcela del ecosistema 2. Por ejemplo para el monitoreo del 2005, los coeficientes de variación oscilaron entre 6.09 y 74%, sin embargo esta variación fue mayor en el 2006 cuyo máximos valores alcanzaron 238 %.

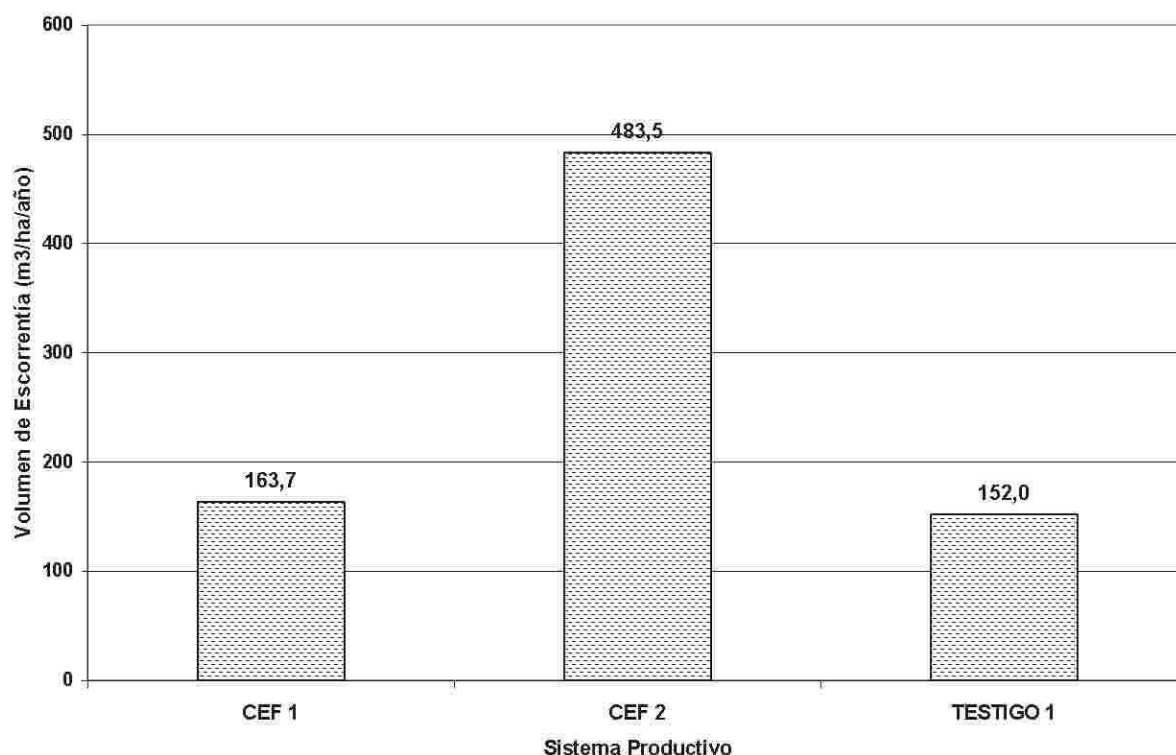


Grafico 3 Volumen de escorrentía superficial en los agroecosistemas productivos de la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.

De acuerdo con Nair *et al.* (1994), los agroecosistemas pueden reducir la erosividad de la lluvia y del escurrimiento. La presencia de capas múltiples de dosel vegetal en los sistemas de cultivo y árboles perennes bajo sombra, puede reducir considerablemente la severidad de su impacto. La retención natural o artificial de los residuos de los árboles sobre la superficie del suelo como mantillo

es otro mecanismo efectivo que provee cobertura a la superficie del suelo protegiéndolo contra la erosividad de la lluvia y del escurrimiento (Omoro y Nair, 1993).

La pérdida de suelo decrece al disminuir la intensidad de la lluvia; también se reduce cuando hay una efectiva cobertura vegetal y por el efecto beneficioso tanto de la hojarasca acumulada en la superficie del suelo como los “mulch” agregados y los abonos verdes enterrados, ya que se reduce la velocidad y la cantidad de escurrimiento, se aumenta la infiltración y por lo tanto disminuye la pérdida de suelo y de nutrientes (Mostaghimi *et al.*, 1994; Peterso, 1994).

El escurrimiento superficial y la pérdida de suelo son más bajos en plantaciones de café bajo sombra que sin sombra (Beer *et al.*, 1998). Con una precipitación anual de 3138 mm en Guatemala, en un terreno sembrado con maíz reportan 2271 mm de agua (72%), en un cafetal joven bajo sombra 471 mm (15%) y en uno adulto 133 mm (4.2%) (Anónimo, 1992).

En el cuadro 2 se presenta el grado de escurrimiento por cada uno de los tratamientos con respecto a la precipitación por mes.

Cuadro 2. Porcentajes de volumen de escorrentía con respecto a la precipitación 2005 y 2006

Mes	P (m ³ / ha)	Escorrentía (m ³ /ha)			Porcentaje de escorrentía (%)		
		Agro1	Agro2	Testigo	Agro1	Agro2	Testigo
Total	12,420	163	483	152	1.3	3.88	1.22

6.1.3 Concentración de sedimento

Como podemos observar en la Cuadro 3, la mayor concentración de sedimento se presenta en el Agroecosistema 1 con un valor de a 2.52 g/L, en el otro extremo el Agroecosistema 2 presento el menor de los valores con 1.29 g/L. Sin embargo, el café con sombra tuvo un valor muy cercano al Agroecosistema 1, con 2.37 entre esos dos agroecosistemas.

El efecto de la cobertura vegetal (agroecosistema 1) ejerce una mayor reducción de esorrentía de 66 %, contribuyendo esto a una reducción de la pérdida de suelo en un 97 % comparado con el agroecosistema 2 que no hubo reducción en el volumen de esorrentía ni en la pérdida de suelo, con respecto a la parcela testigo podemos observar que la mayor reducción del volumen de esorrentía se presenta en esta siendo de 69 %, y presentando una mayor concentración de sedimentos con respecto al los otros dos tratamientos.

Cuadro 3. Concentración de sedimentos y porcentajes de reducción de esorrentía y pérdida de suelo por agroecosistema de la Microcuenca Las Mercedes, subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.

Sistema Productivo	Concentración de Sedimentos (g/L)	Volumen de Esorrentía Reducida (%)	Pérdida de Suelo Reducida (%)
Agroecosistema 1	2,52	66%	97%
Agroecosistema 2	1,29	0%	0%
TESTIGO 1	2,37	69%	98%

6.1.4 Pérdida de nutrientes.

La pérdida de nutrientes depende de la cantidad de suelo erosionado y la concentración de nutrientes en el suelo (Maass *et al.*, 1988). No se obtuvieron pérdidas de nutrientes obtenidas en el Agroecosistemas 1 y el Testigo. Solamente en el agroecosistema 2 se obtuvieron pérdidas de nutrientes, siendo estas menores a 0.50 kg/ha considerándose casi nulas en comparación con estudios realizados en los agroecosistemas de café (ver Cuadro 4). Probablemente, esto se debe a que el suelo se encontraba desprotegido de cobertura vegetal además de esto cada vez que se fertilizaba se realizaban prácticas agronómicas cada tres

meses; mayo, septiembre y diciembre respectivamente .lo cual esto implica perturbación del suelo. Por otra parte, la gradiente de la pendiente era de 39%, la cual es considerada como un relieve escarpado.

Las pérdidas promedio de nitratos en el escurrimiento superficial reportados por Uribe-Gómez *et al.* (2002) fueron 17, 23, 24 y 9 kg/ha año y las de potasio 19, 16, 16 y 13 kg/ha año en labranza tradicional, barreras vivas de madero con tracción mecánica, barreras vivas con tracción animal y labranza conservacionistas, respectivamente.

Cuadro 4. Pérdida de nutrientes en forma de compuesto fertilizante para los agroecosistemas productivos de la finca San Francisco de la Microcuenca Las Mercedes, subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.

Sistemas Productivos	Pérdida de Nutrientes (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Agroecosistema 1	0,0	0,0	0,0
Agroecosistema 2	0,4	0,0	0,3
TESTIGO	0,0	0,0	0,0

El Agroecosistema 1 no se pierde nutriente debido a la protección que brinda la canavalia más bien pudo haber un aporte de nitrógeno debido a que es una leguminosa de matón. El testigo no pierde ningún macroelementos debido a la protección de la cubierta vegetal muerta sobre el suelo, más bien libera nutrientes con forme se va descomponiendo.

En investigaciones realizadas por CENICAFÉ Colombia (citado por Gómez y Alarcón, 1975) con una pérdida de suelo de 0.33 ton/ha año en café al sol con cobertura natural, se registraron pérdidas de nutrientes de 4.28, 3.7, 0.12, 0.26 y 5.44 kg/ha año de N, Ca, Mg, K y P respectivamente, En café al sol con barreras vivas, con pérdidas de suelo de 1.66 ton/ha año y de nutrientes de 13.68 – 8.74 – 2.6 – 11.64 y 0.33 kg/ha año de N, Ca, Mg, K y P, respectivamente y en cafetales

bajo sombra con pérdida de suelo de 0,56 ton/ha año los nutrientes perdidos fueron 2.21, 5.33, 4.9, 2.35 y 0.08 kg/ha año.

6.2 Ecuación Universal de Pérdida de suelo (EUPS).

6.2.1 Determinación de los parámetros.

6.2.1.1 Factor erosividad de la lluvia (R).

Las precipitaciones mensuales y anuales promedios del registro de INETER de 1971 a 2000, se presentan en el Cuadro 5, en la segunda columna se muestran las lámina promedio anual de precipitación siendo de 1,205 mm. En la tercera columna se presentan los valores de las precipitaciones medias mensuales elevadas al cuadrado. La sumatoria de esos valores dio un total de 166,991. Aplicando la Ecuación del Índice de Fournier, la relación de la sumatorias de la tercera columna sobre la segunda columna, el cual da el valor de 138.58 en unidades inglesa, la cual se multiplica para convertir el valor en unidades SI de 2,356 MJ mm/ha h año. En la columna número cuatro se presentan los valores de erosividad para cada uno de los meses de precipitación.

Cuadro 5 Láminas de precipitación mensual promedio y su respectivo cálculo al cuadrado. Estación principal de Jinotega.(1971 al 2000).

Mes	Precipitación (mm)	Precipitación ²	Valores de Erosividad (MJ*mm/ha*hr)
Enero	36.5	1,332	18.79
Febrero	20.4	416	5.87
Marzo	17.0	289	4.08
Abril	20.3	412	5.81
Mayo	128.3	16,460	232.21
Junio	178.0	31,684	446.99
Julio	138.0	19,044	268.67
Agosto	151.2	22,861	322.52
Septiembre	199.9	39,960	563.75
Octubre	188.6	25,569	360.72
Noviembre	84.1	7,072	99.77
Diciembre	43.5	1,892	26.69
Total	1,205 mm	166,991	2356

Factor erodabilidad del suelo (K).

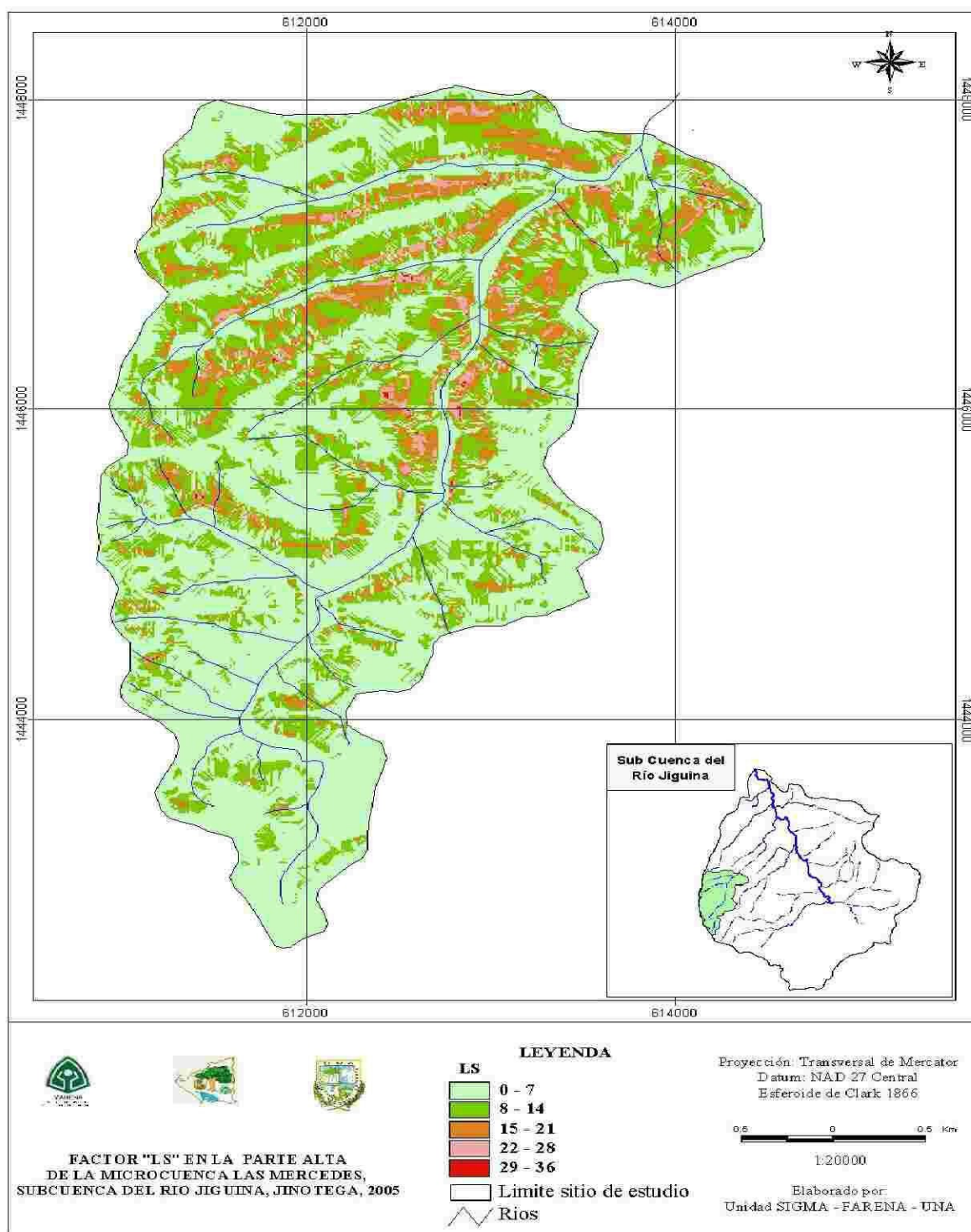
Como resultado de los análisis de textura se obtuvieron los siguientes valores:

- Limo + arena muy fina de 34%
- Resto de arenas = 40%.

El contenido de materia orgánica fue de 7.43%. De la descripción de perfiles (ver anexo C), se determinó la forma y el tamaño de estructura del horizonte superficial que fue de grumosa media y es clasificada como 4. La permeabilidad del suelo basado en su textura y estructura fue de clase 3 o sea moderada. Usando los valores obtenidos y la secuencia de los pasos ilustrados en el Nomograma del Anexo A, se determinó un valor de K de 0.011 ton ha h/ha MJ mm.

6.2.1.2 Factor longitud y gradiente de pendiente (LS).

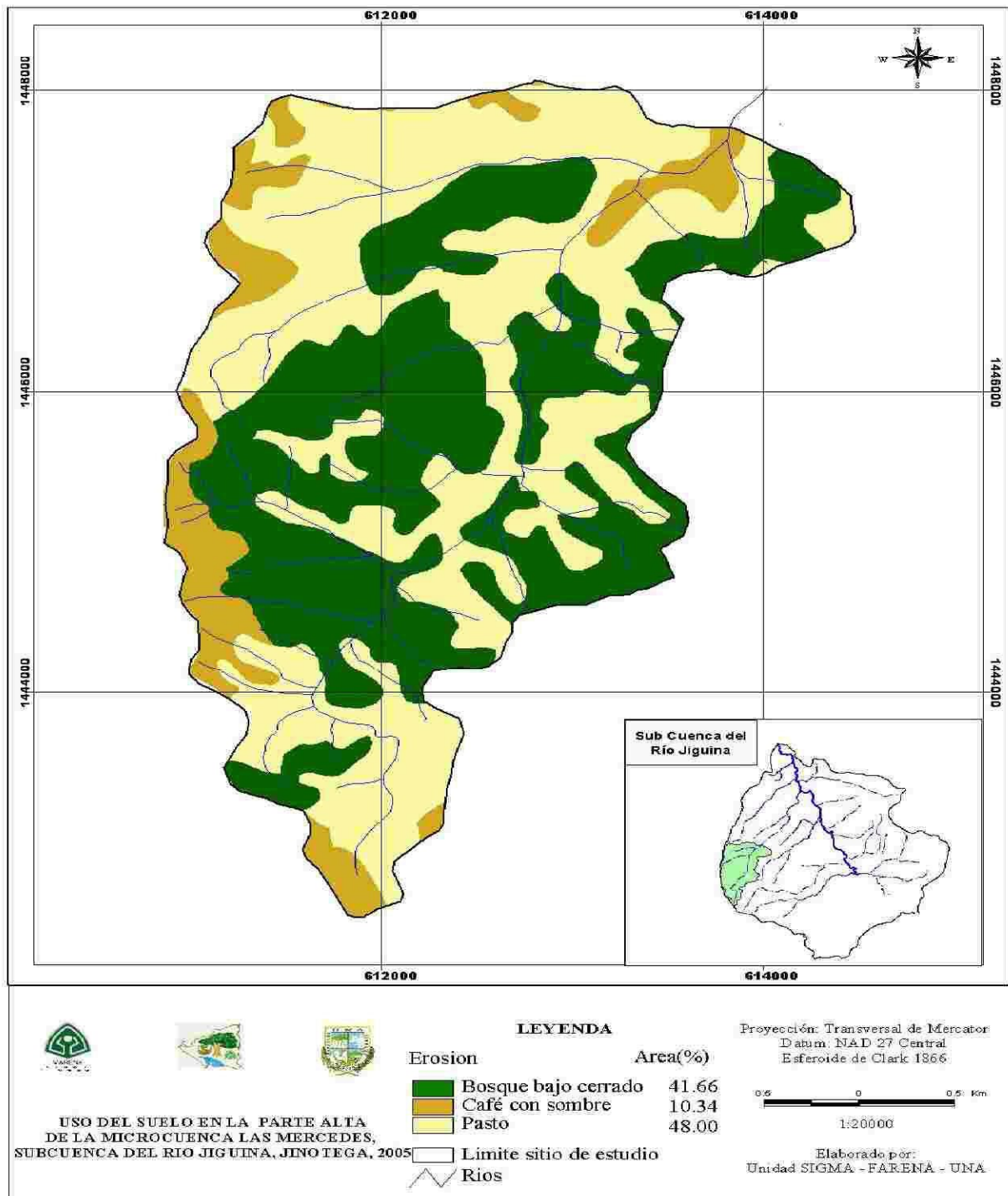
El valor de LS que se obtuvo a través del modelo de elevación digital (MED) osciló entre 0 a 35 en la microcuenca (Mapa 1).



Mapa 1 Valores de LS de la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca Jigüina, Jinotega.2005.

6.2.1.3 Factor uso y manejo de la cobertura vegetal (C)

De acuerdo al mapa de uso actual y usando los valores correspondientes a la cobertura de vegetación del anexo B, se asignó un valor de 0.001 a bosque bajo cerrado, 0.050 para café con sombra 0.050 y 0.070 para el uso de pasto (ver Mapa 2). Para el caso de un cambio de escenario potencial, en donde la microcuenca va a ser reemplazado el café con sombra por cultivos anuales se le asignó un valor de 0.5. Este mapa como es un solo valor no se presenta en el documento.



Mapa 2 Uso de suelo para la parte alta de la microcuenca Las Mercedes subcuenca Jigüina, Jinotega.2005.

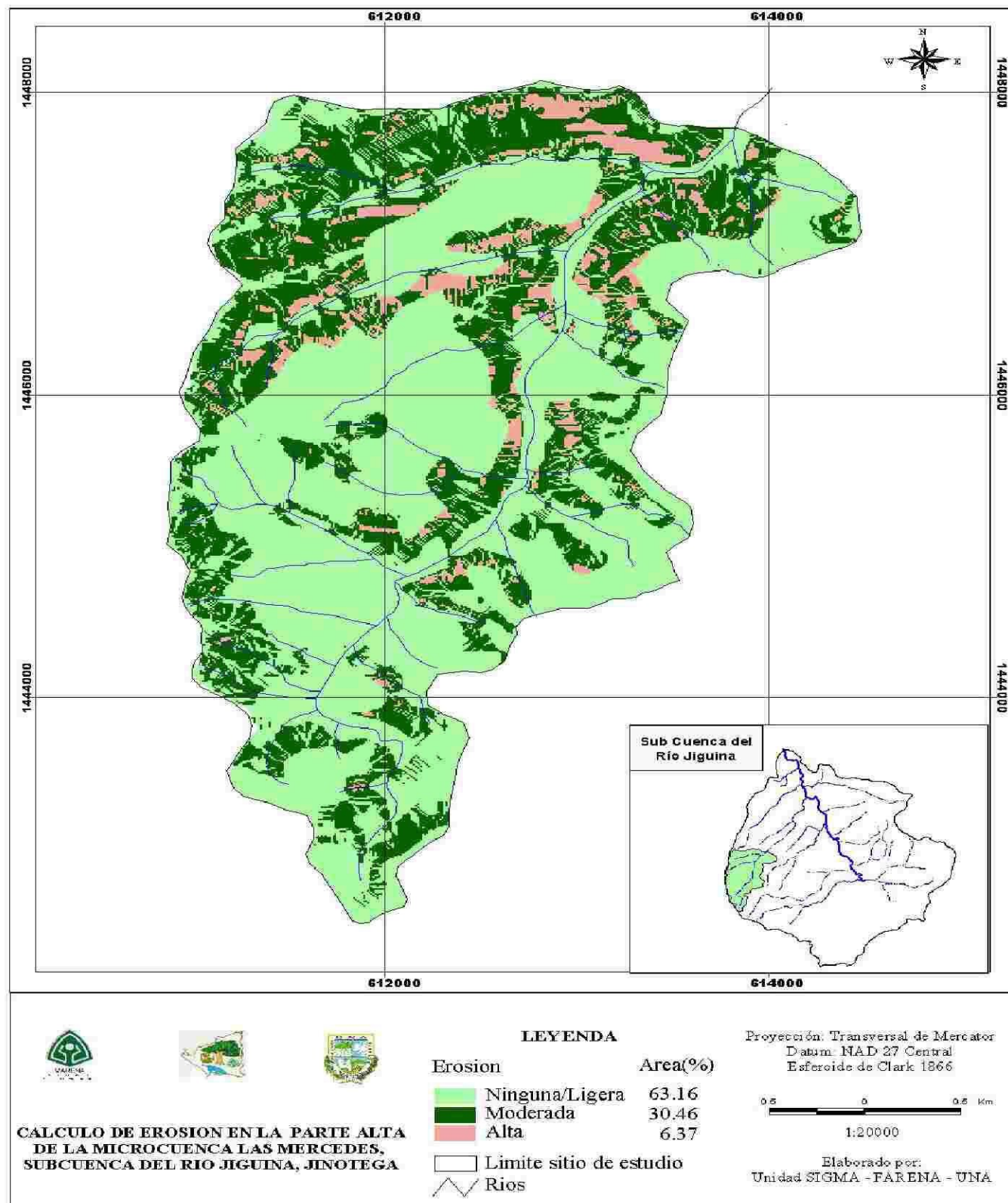
6.2.2 Pérdidas de suelos.

Una vez determinado los valores de los parámetros de la EUPS, se procedió a integrarlos en el SIG, para generar dos mapas de erosión: a) con el uso actual y b) un escenario probable.

6.2.2.1 Mapa de erosión potencial con el uso actual de la tierra.

Los datos de erosión que se obtuvieron a través de la aplicación del modelo EUPS por medio de la herramienta SIG, muestra los diferentes grados de erosión que se presentan en la microcuenca en el Mapa 3. Tomando en cuenta estos resultados, la erosión se distribuye en el territorio de la microcuenca con una clase de ninguna a ligera de 63.16 %, moderada con 30.46 % y alta con 6.7%.

Se anota que la mayor parte del área de estudio presenta una pérdida de suelo menor a las 10 ton/ha año, como una consecuencia de la protección que brindan tanto los cultivo perennes y el área boscosa que cubren un 52% del área total. La erosión alta se muestra en un 6.7% debido a que en la microcuenca se presentan en algunas áreas de terreno escarpado acompañado a esto, el establecimiento de los cultivos, dado que algunos casos se notan cultivos a favor de la pendiente y áreas sobre pastoreadas



Mapa 3. Mapa de erosión actual de la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.

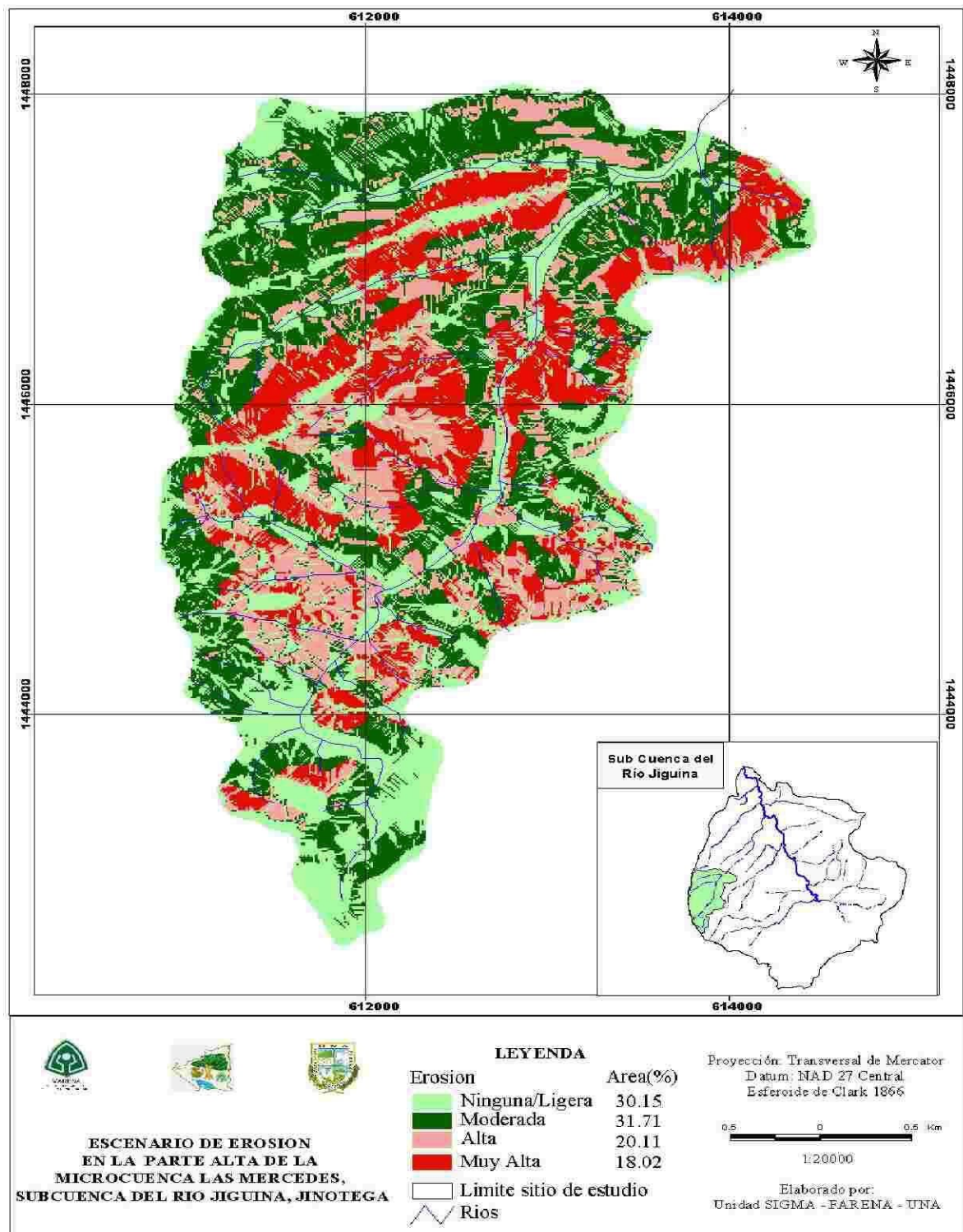
6.2.2.2 Mapa de erosión potencial bajo un escenario de cambio de uso de la tierra.

En el Cuadro 6, se presentan los resultados de la clasificación de la de erosión por área cuando se efectúa un cambio en el uso de la tierra de bosque por cultivos anuales. El área de bosque correspondió a un total de 455.75 ha equivalente al 42% del área total de la microcuenca.

Cambiando los valores de C de 0.001 de bosque bajo cerrado a 0.5 correspondiente a cultivos anuales, aumentan las áreas con una clasificación de erosión hídrica más alta. La erosión clasificada como nula a ninguna es reducida a 30.2%. Y aparece una nueva clasificación de Muy Alta con 18%.

Cuadro 6 Rangos de erosión por unidad de área para el escenario utilizando la EUPS microcuenca las mercedes sub cuenca Jigüina Jinotega. 2005.

CLASES	Área (ha)	Área (%)
Ninguna	328.6	30.2
Moderada	345.7	31.7
Alta	219.1	20.1
Muy Alta	196.4	18.0
Alta	1089.8	100.0



Mapa 4. Escenario de erosión potencial de la Microcuenca Las Mercedes, Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega 2005.

7. CONCLUSIONES.

- En general todos los agroecosistemas consistentes en plantaciones nuevas de café con cultivos de cobertura como canavalia o uso de barreras vivas con diferentes estratos de plantas arbóreas y frutales no sobrepasaron el valor de tolerancia de la FAO (< 10 ton/ha año). Tales resultados son similares al testigo evaluado que consistió en plantación madura de café bajo sombra arbórea, lo cual indica que en plantaciones jóvenes se puede hacer un manejo sostenible del suelo.
- Los volúmenes de escorrentía fueron similares en los tratamientos esto refleja la influencia del tipo de cobertura que presenta cada uno de los sistemas.
- Las pérdidas de nutrientes registradas fueron bajas y se correspondieron con la pérdidas de suelo, esto fue principalmente producto de la cobertura vegetal que contribuyó a una mayor infiltración y menor escorrentía superficial.
- Un cambio de uso de la cobertura arbórea proporcionada por el café por el cultivo anual, ocasionaría un incremento serio en el grado de erosión. Que repercutiría en la sostenibilidad del recurso tanto desde el punto de vista de producción como el de conservación.
- Actualmente con el café de sombra no se encuentra una tasa de erosión clasificada como muy alta pero si que el 63 % del área de la cuenca se mantenga por debajo del nivel de tolerancia, sin embargo el cambio de uso en un escenario potencial a cultivos anuales ocasionaría la estimación de erosión clasificada como muy alta en 18 % de la cuenca y un cambio de 6 a 20 % de la clasificación como alta erosión.

8. RECOMENDACIONES

- No realizar cambios de uso, de bosque a cultivos perennes dado que se perdería la capa fértil que por cierto es muy escasa teniendo algunas profundidades de 0 ha 30 cm.
- Manejar el café(*Coffea arabica*) bajo sombra tradicional dado que tiene buenos resultados el control de la erosión hídrica debido a la protección que brinda la hojarasca de los árboles más el café (*Coffea arabica*). Utilizar cultivos de cobertura en las primeras etapas de estadio del café dado que posee una buena protección contra el impacto de las gotas de lluvia disminuyendo la erosión.
- Realizar nuevos estudios relacionados a la erosión hídrica con cultivos que están siendo implementados en nuevas áreas deforestadas de la cuenca como hortalizas (Zanahoria, remolacha, pepino, apio, etc.), con el fin de alertar sobre una erosión acelerada en esa zona en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en la zona de Jinotega
- Establecer parcelas con cultivos anuales en la microcuenca la Mercedes con la finalidad de tener un testigo relativo de cobertura asimismo una parcela desnuda (sin vegetación) como testigo absoluto. Esto desde el punto de vista de investigación para poder comparar bajo las condiciones de precipitación en la zona. De ninguna manera para promover cultivos anuales en esa zona continuar el muestreo en las parcelas de escorrentía con el objetivo de fortalecer la base de datos existente.
- El modelo USLE permite la valoración del grado de erosión a nivel de cuenca usando datos disponibles en nicaragua, sin embargo se deben de tomar los resultados con precaución porque sobre estima los valores de perdidas de suelo 20 veces los valores medidos en las parcelas.

9. BIBLIOGRAFIA

- Beer J., R. Muschler, D. Kass, and E. Somarriba. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry systems* 38: 139-164.
- CATIE-GTZ, 2000. Árboles en cafetales. modulo de enseñanza Agroforestal N° 5. Turrialba, Costa Rica. 135 Pág..
- CRASWELL, E. T.; A. SAJJAPONGSE; D. B. J. HOWLWTT y A. J DOWLING. 1997. Agroforestry in management of sloping land in Asia and the Pacific. *Agroforestry Systems*, 38:121-137.
- FASSBENDER, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da. ed. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Serie de Manuales de Enseñanza N°. 29, 492 p.
- Gómez, L.; Caballero, R. y Rincón, B. 2000. Ecotipos cafeteros de Colombia - zonificación agroecológica. Fedecafé. Bogotá. IGAC. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá D.C. 502 p.
- Guido, J. 1997. Evaluación de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo en la microcuenca "D" de la cuenca sur del lago de Managua. Escuela de producción vegetal. UNA Managua. Pág 13.
- GOMEZ A., A. Las malezas nobles previenen la erosión. Chinchiná (Colombia). *Cenicafé* 1990 4 p (Avances Técnicos Cenicafé N°151).
- GÓMEZ, A. 1972. Erosión en cafetales, bajo diferentes sistemas de manejo. *Avances Técnicos de CENICAFÉ*, Tomo II. No. 19, 23-28.
- GÓMEZ, A. y H. ALARCÓN. 1975. Erosión. In: FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. CENICAFÉ, Colombia. 86
- Kirkby, M.J, Morgan, R.P.C. 1984. Erosión de suelos. LIMUSA. MX. 375 p.

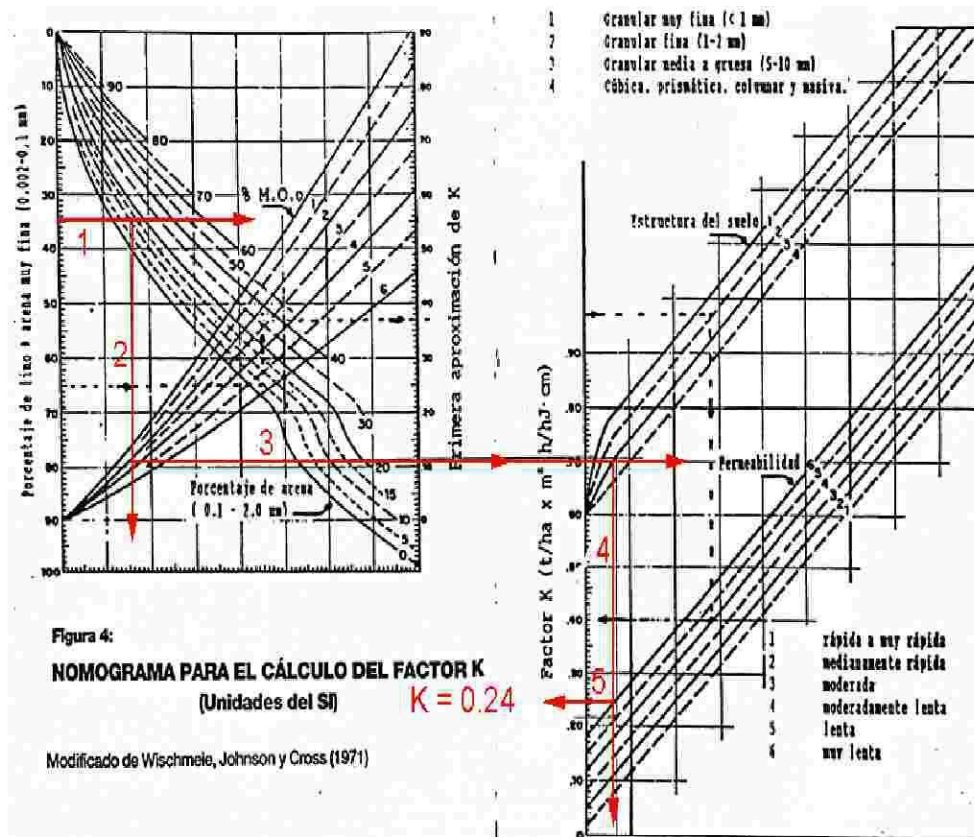
- LAL, R. 1988. Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. In: Lal R. (ed.). Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society, EUA.
- LAL, R. 1989. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. II: Water runoff, soil erosion and nutrient. Agroforestry Systems, 8:97-112.
- MAASS, J. M., C. F. JORDAN y J. SARUKAN. 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. J. Applied Ecol., 25:595-607.
- MAGFOR. 2004. Estrategia para la reconversión y la diversificación competitiva de la caficultora en Nicaragua. MAGFOR Gobierno de Nicaragua. 60 Pág. Comercial 3H. 1ª Ed.
- MARENA. 2001. Plan de ordenamiento de la Microcuenca Jigüina. Informe técnico N° 4, Managua, Nicaragua. 62 Pág.
- MARENA. 2002. Estudio de línea base para la fase II del POSAF. Informe final Managua. Managua, Nicaragua. 47pág.
- Morgan, R.P. 1997. Erosión y conservación de suelo. 1ed. Madrid, España. ediciones mundi prensa. 339 Pág.
- MOSTAGHIMI, S.; T.M. GIDLEY; T.A. DILLAHA and R.A. COOKE. 1994. Effectiveness of different approaches for controlling sediment and nutrient
- Mendoza, F; Chévez, M. 2000. Análisis de la sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático. UNA. Managua, NI. 98 p
- MENDOZA, R. V., 2002. La paradoja el café. : El gran negocio mundial y la peor crisis campesinas. 1 Eed. Managua, Nitlaplan. 150 Pág.
- Nuñez, S. 1946. fundamentos de EDAFOLOGÍA 2ed. San José Costa Rica 188pag.

- Nair P. K. R., M. R. Rao, and E. C. M. Fernandes. 1994. Tree Crop Interactions in Sustainable Agroforestry Systems. 15th World Congress of Soil Science. Volume 7a Commission, VI Symposia. pp: 110-137.
- Omoro L., M. A., and P. K. R. Nair. 1993. Effects of mulch with multipurpose tree prunings on soil and water runoff under semiarid conditions in Kenya. *Agroforestry systems* 22: 239-255.
- PAEZ, M. L. y O. S. RODRIGUEZ. 1995. Eficiencia de diferentes sistemas en el control de la erosión. *Rev. alcance*, Maracay, Venezuela. 47:13-28.
- PASOLAC, 1993. inventario de entidades que trabajan en la agricultura sostenible en laderas en Nicaragua. Documento 8. Managua, Nicaragua.
- PASOLAC. 1998. Órgano oficial de divulgación de programas para la agricultura sostenible en las laderas de América central LADERAS no 2 10-31.
- PASOLAC, 2005. Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. Basado en experiencias nacionales. 2 ed. Managua, Nic. 61 Pág.
- PETERSON, J. B. 1994. The relation of soil fertility to soil erosion. *J. Soil Water Cons.*, 19:15-19.
- Pritchett, W. 1990. Suelos Forestales. Propiedades, Conservación y Mejoramiento. Hurtado, J, 1era Ed. México, D.F Limusa S.A. de C.V. 627 Pág.
- PNUMA 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO – PNUMA – UNESCO. 86 p
- RIVERA P., H.; GOMEZ A., A. 1993. Erosión Potencial de los suelos de la Zona Cafetera Central Colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda) y su aplicabilidad en la orientacion del uso, manejo y conservacion. *Cenicafé* (Colombia).

- SUAREZ DE CASTRO, F. y G. A. RODRIGUEZ. 1962. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Bogotá (Colombia), Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 1962. 473 p.
- URBINA, C. y O. RODRIGUEZ. 1995. Efecto de los abonos orgánicos en el control de la erosión y mejoramiento físico y químico del suelo. Rev. alcance, Maracay, Venezuela. 47-63-74.
- URIBE H., A. 1971. Erosión y Conservación de suelos en café y otros cultivos. Cenicafe (Colombia).
- Uribe-Gómez S., N. Francisco-Nicolás, y A. Turrent Fernández. 2002. Pérdida de suelo y nutrimentos en un Entisol con prácticas de Conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. Agrociencia 36: 161-168.
- VALLEJOS, C y J. VELÁSQUEZ. 1998. Evaluación de Especies Leguminosas como Cultivo de Cobertura y Barreras Vivas en el Control de la Erosión en Cafetales Jóvenes del Departamento de Matagalpa, tesis Br español Universidad Nacional Agraria Managua Nicaragua. 81pág.
- WISCHMEIER W. H. y D. D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning United States Department of Agriculture. Agricultural Handbook, No 282.

10. ANEXOS

A. Nomograma modificado de Wischmeier Johnson y Cross (1971).



B. Valores Referenciales del Índice de Factor de Uso y Manejo del suelo C de Cobertura (C) (Miller y Donahue,1990; Fletcher,1996; Morgan1995; CTFT,1979; SRR,1996).

COBERTURA VEGETAL	C
Bosque no intervenido	0.001
Bosque intervenido	0.34
Tierras erosionadas con escasa vegetación	0.8
Suelo desnudo	1
Cultivos extensivos en hileras, ejemplo maíz	0.5
Yuca y batata 1er año	0.2-0.8
Palmera, café, cacao	0.1-0.3
Pastos	0.07
Hortalizas	0.3
Algodón	0.6
arroz de irrigación	0.05
arroz de secado	0.5
Banana	0.6
Bosque con capa de humus	0.001
Cacao	0.2
Café	0.2
Café bajo sombrero	0.05
Cana de azúcar	0.2
chile	0.6
Crotalaria ussaramouensis	0.5
Cultivo agrícola con "mulching" intenso	0.001
Flores	0.45
fresas	0.4
Fríjol	0.9
Gramínea Brachiaria -ano 1	0.002
Huerta mixta	0.1
Maíz	0.65
maní	0.3
Palma de aceite	0.3
papas	0.4
papas (surcos a través de la pendiente)	0.3
papas (surcos según la pendiente)	0.6
papaya	0.2
Pasto permanente -bueno	0.04
Pastos permanente malo	0.4
Pina en contorno - residuos en superficie	0.01
Pina en contorno - residuos enterrados	0.2
Pina en contorno - residuos recolectados	0.3
Plantación joven de árboles	0.3
Rastrojo alto con capa de humus	0.01
Sorgo	0.3
soya	0.4
Suelo desnudo	1
Tabaco	0.5
Taro	0.86
Te	0.2
Tef (Etiopia)	0.25
Yam	0.5
Yuca	0.8

Anexo C Descripción del perfil en la finca San Francisco las Mercedes Jinotega.

I- Información acerca del sitio de muestreo las Mercedes Jinotega

a. Número del perfil: 5

b. Clasificación

Serie: las mercedes

Clasificación general: Mollisol.

c. fecha de observación: 8 de septiembre del 2006.

d. Autores: Domingo Rivas, José Rivera y Crisanto Galeano.

e. Ubicación: Comarca Las Mercedes Jinotega.

Finca: San Francisco

De la escuela Las Mercedes 300 vrs al sur

Coordenadas UTM:

f. Altitud: 1300 m.s.n.m.

g. Pendiente: 24%

h. Forma del terreno: cóncava

i. Contorno. Fuertemente socavada

j. Micro topografía: Acequia de ladera

k. Uso de la tierra

Agrosistemás: Café (*Coffea arabica*, L.) y caña de azúcar *Saccharum officinarum*, L.).

Especies arbóreas: cedro, Caoba, Musácea eh guaba roja, caliandra, sapotillo, guaslipe, jocote, madero negro, jiñocuabo.

II Información general del suelo

a. Material de partida: origen volcánico del terciario

b. Drenaje: clase 4 bien drenado

c. Condiciones de humedad del suelo: 100% húmedo.

d. Profundidad: 8 metros

e. Presencia de piedra superficial: clase o sin piedra.

f. Afloramiento rocoso: clase 0

g. Evidencia de erosión:

h. No hay sales: clase 0

h. Influencia humana: 1 nonza /planta de 15-15-15.

III Horizontes

A1 0-3cm. Café rojizo oscuro (5 YR 3/2) en húmedo franco; estructura granular, frágil, ligeramente adherente, plástico, abundante microporos no pedregosos, frecuentes raíces medianas y abundantes raíces finas y muy finas, límite plano.

A2 3- 23cm. Café rojizo oscuro (2.5 YR 2. 5/4) en húmedo franco limoso; estructura en bloques subangulares, medianos, friable en húmedo, ligeramente adherente, plástico, abundantes microporos, poco pedregosos, muchas raíces finas, pocas raíces gruesas, límite plano y difuso.

B1 23- 49cm. Café rojizo oscuro (2.5 YR ¾) en húmedo franco arcillo limoso; estructura en bloques subangulares, medianos, friable en húmedo, ligeramente adherente, plástico, abundancia de microporos, muy poco pedregosos y pocas gravas, pocas raíces finas y muy finas, límite plano y difuso.

B2 49- 75cm. Café rojizo oscuro (2.5 YR ¾) en húmedo arcillo limoso; estructura bloques angulares, gruesos, firme en húmedo, ligeramente adherente, plástico, abundantes microporos, frecuentes pedregones, muy pocas raíces finas, pocas raíces muy finas, límite plano difuso